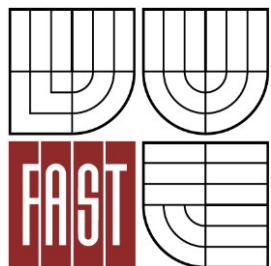




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV GEODÉZIE

Faculty Of Civil Engineering

Institute of Geodesy

GEODETICKÉ MĚŘENÍ POSUNŮ A DEFORMACÍ MOSTU "GAGARIN"

GEODETIC DEFORMATION MEASUREMENTS OF "GAGARIN" BRIDGE.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL KOVÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ BUREŠ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. MICHAL KOVÁČ
Název	Geodetické měření posunů a deformací mostu "Gagarin"
Vedoucí diplomové práce	Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, cSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] ANDĚL J. – Matematická statistika, SNTL, Praha 1978
- [2] BÖHM J., RADOUCH V., HAMPACHER M. – Teorie chyb a vyrovnávací počet, GKP Praha, 1990
- [3] BÖHM J., SVOBODA J. – Geometrická nivelace, SNTL Praha, 1960
- [4] BUREŠ, J.; ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A., Vybraná realizovaná technologická řešení speciálních inženýrsko-geodetických měření v oblasti zkušebnictví stavebních konstrukcí a materiálů., příspěvek na konferenci XII. International Scientific Conference - Geodesy and Cartography, ISBN 978-80-7204-629-4, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2009
- [5] BUREŠ, J., SLÁMA, J., SLAVATA, J., Verifikace a interpretace skutečného chování velkých mostních konstrukcí s využitím výsledků geodetických měření., příspěvek na konferenci EXPERIMENT07, ISBN 978-80-7204-543-3, CERM, s.r.o. Brno, Brno, 2007
- [6] SEDLÁČEK S. – Programový systém GNET, uživatelská příručka , Brno 1996

Zásady pro vypracování

Podílejte se na geodetickém zaměření jedné etapy dlouhodobého sledování železničního mostu "Gagarin". Zpracujte výsledky měření, analyzujte přesnost, vyhodnoťte posuny a deformace vzhledem k předchozí etapě a vhodně je graficky znázorněte a geometricky interpretujte.

Předepsané přílohy

.....

Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Náplňou diplomovej práce je geodetické zameranie posunov a deformácii nosnej konštrukcie a spodnej stavby železničného mostu Gagarin v etape 7 s následným spracovaním meraných dát, výpočtom a vyhodnotením posunov vzhľadom k predošlým etapám 5, 6. Práca zahŕňa aj kalibráciu prístrojov a pomôcok použitých k zameraniu. Výsledkom práce sú hodnoty zistených posunov s ich grafickou interpretáciou a kalibračné listy testovaných prístrojov a pomôcok.

Klíčová slova

geodetické meranie posunov a deformácii, most Gagarin, presná nivelácia, trigonometria

Abstract

The content of this master's thesis is a geodetic measuring of movements and deformations of skeleton and underwork of „Gagarin“ railway bridge during the seventh period and processing of the data got. This was done by comparison of the movements according to the fifth and sixth period. The work includes also the calibration of appliance used. The results involve figures of the movements with their graphic interpretation and calibration sheets of the appliance.

Keywords

geodetic measuring of movements and deformations, Gagarin bridge, precise leveling, trigonometry

Bibliografická citace VŠKP

KOVÁČ, Michal. *Geodetické měření posunů a deformací mostu "Gagarin"*. Brno, 2013. 98 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Jiří Bureš, Ph.D..

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracoval samostatne a že som uviedol všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa 23.5.2013

.....
podpis autora
Michal Kováč

Pod'akovanie:

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Jiřímu Burešovi Ph.D. za cenné rady, pripomienky a odborné vedenie pri tvorbe tejto práce.

OBSAH

1.	Úvod.....	- 8 -
2.	Vybrané pojmy z terminológie mostného stavitel'stva	- 9 -
3.	Problematika merania posunov a deformácií	- 13 -
3.1	Základné informácie o meraní posunov a deformácií stavebných objektov	- 13 -
3.2	Metódy merania posunov a deformácií	- 15 -
4.	Základné údaje o sledovanej mostnej konštrukcii- mostu Gagarin	- 22 -
4.1	Lokalizácia mostu Gagarin	- 22 -
4.2	Pôvodná konštrukcia mostého objektu	- 23 -
4.3	Rekonštrukcia mostého objektu	- 23 -
4.4	Monitorovanie posunov a deformácií mostného objektu	- 24 -
5.	Rozbor presnosti pred meraním	- 27 -
6.	Kalibrácia prístrojov	- 29 -
6.1	Overenie rovinnosti pätky nivelačnej laty	- 29 -
6.2	Testovanie vodorovnosti zámernej priamky nivelačného prístroja	- 30 -
6.3	Stanovenie závislosti presnosti prevýšenia na dĺžke nivelačnej zostavy	- 31 -
6.4	Stanovenie súčtovej konštanty odrazného terča	- 32 -
7.	Meračské práce	- 33 -
7.1	Zameranie posunov a deformácií spodnej stavby objektu	- 33 -
7.2	Zameranie posunov a deformácií nosnej konštrukcie mostu	- 35 -
7.3	Zameranie predošlých etáp	- 37 -
8.	Spracovanie nameraných dát	- 38 -
8.1	Spracovanie nameraných dát- nivelácia	- 38 -
8.1.1	Kontrola nameraných dát	- 38 -
8.1.2	Editácia formátu meraných dát	- 39 -
8.1.3	Posúdenie stability vzťažnej sústavy a vyrovnanie nivelačných dát	- 41 -
8.2	Spracovanie nameraných dát- trigonometria	- 43 -
8.2.1	Zadefinovanie súradnicového systému	- 43 -
8.2.2	Výpočet a vyrovnanie meraných dát	- 43 -
9.	Výpočet a vyhodnotenie posunov a deformácií konštrukcie	- 46 -
9.1	Vyhodnotenie posunov a deformácií spodnej stavby mostu	- 47 -
9.1.1	Výpočet posunov etapy 7 (2012) vzhľadom k etape 6 (2011)	- 47 -

9.1.2	Výpočet posunov etapy 7 (2012) vzhľadom k etape 5 (2010)	- 48 -
9.1.3	Trend vývoja zmeny geometrie konštrukcie	- 48 -
9.1.4	Zhodnotenie zistených posunov	- 48 -
9.2	Vyhodnotenie posunov a deformácií nosnej konštrukcie mostu	- 49 -
9.2.1	Výpočet posunov etapy 7 (2012) vzhľadom k etape 6 (2011)	- 49 -
9.2.2	Výpočet posunov etapy 6 (2011) vzhľadom k etape 5 (2010)	- 50 -
9.2.3	Výpočet posunov etapy 7 (2012) vzhľadom k etape 5 (2010)	- 51 -
9.2.4	Zhodnotenie zistených posunov	- 51 -
10.	Záver	- 52 -
11.	Bibliografia	- 53 -

1. ÚVOD

Obsahom tejto práce je geodetické meranie posunov a deformácií železničného mostu Gagarin nachádzajúceho sa v km 5,897 na trati Český Tešín- Ostrava Kunčice. Práca je zameraná na vyhodnotenie troch etáp geodetického zamerania konštrukcie, ktoré boli prevedené v rokoch 2010, 2011 a 2012. Hlavným dôvodom sledovania konštrukcie objektu je jeho rozsiahla rekonštrukcia, ktorá prebehla v roku 2009. Rekonštrukcia mostného objektu bola ojedinelá svojho typu a spočívala vo zvýšení nosnosti konštrukcie a vo vybudovaní nového koryta pre umiestnenie štrkového koľajového lôžka za účelom umožnenia jeho priebežného strojného čistenia. Doposiaľ už bolo zrealizovaných niekoľko etáp zamerania konštrukcie objektu. Etapa 0 znázorňuje pôvodný stav konštrukcie pred začatím rekonštrukcie, etapy 1-4 boli realizované vo významných fázach rekonštrukcie a etapy 5-7 monitorujú stav zrekonštruovaného mostného objektu po uvedení do prevádzky v ročnom intervale. Vlastnou náplňou tejto diplomovej práce je geodetické zameranie aktuálneho stavu konštrukcie v roku 2012, ktoré činí siedmu etapu a vyhodnotenie vzhľadom k etapám minulým. V úvodných kapitolách sa práca zaoberá všeobecne o problematike merania posunov a deformácií, o vhodných meračských metódach a postupoch použiteľných pre tento účel s dôrazom na aktuálny stav tejto problematiky v súčasnosti. Priestor je venovaný aj podrobnejšiemu popisu rekonštrukcie mostného objektu, z čoho vyplýva aj umiestnenie sledovaných bodov na konštrukcii. Ďalšiu časť práce tvorí časť praktická, ktorá sa zaoberá vlastnými terénnymi prácami zahŕňajúcimi zameranie objektu. Súčasťou tejto časti je stručný popis metód a technológie zamerania spojený s rozborom presnosti a následne s výberom prístrojového vybavenia, ktoré zaistí dodržanie požadovanej presnosti určenej rozborom. Dôležitou súčasťou je aj overenie presnosti použitých prístrojov a pomôcok s vyhotovením kalibračných listov. Nasleduje popis spracovania nameraných údajov, ktoré spočíva vo výpočte zápisníkov a zavedením príslušných korekcií. Takto spracované údaje boli prevedené do formátu aby bol umožnený ich import a vyrovnanie za pomoci počítačového programu. Posledná kapitola je venovaná výpočtu jednotlivých posunov a deformácií konštrukcie objektu a ich vhodnou interpretáciou. Posudzovaný je stav aktuálnej siedmej etapy (2012) vzhľadom k etapám uskutočnených v rokoch 2010 a 2011 (5., 6. etapa).

2. VYBRANÉ POJMY Z TERMINOLÓGIE MOSTNÉHO STAVITELSTVA

V tejto kapitole sa nachádza prehľad pojmov z terminológie mostného stavitelstva, ktoré sú používané v tejto práci. Všetky použité pojmy sú v súlade s normou ČSN 73 6200 o mostnom názvosloví. [15]

mostný objekt: súčasť jednej alebo viacerých komunikácií nahradzujúce jej zemné teleso v mieste, kde je potrebné prekonať prírodnú alebo umelú prekážku premostením, poprípade zvoliť iné riešenie z vodohospodárskych, ekonomických, alebo estetických dôvodov. Je tvorený jedným alebo aj viacerými vedľa postavenými mostami, priepustkami, lávkami vrátane všetkých stavebných diel a úprav potrebných k zaisteniu jeho funkcie a životnosti. Podľa druhu premostenia sa mostné objekty delia na mosty, priepustky a lávky.

mostná konštrukcia: časť mostu tvorená spodnou stavbou a nosnou konštrukciou. Tento termín sa uplatňuje hlavne v prípadoch, kedy oddelenie hlavnej nosnej konštrukcie od spodnej stavby nie je konštrukčne dosť výrazné ako u niektorých rámových, alebo klembových konštrukcií.

uloženie: spôsob, ktorým určitá nosná konštrukcia alebo jej súčasť dosadá na podperu, popr. inú časť nosnej konštrukcie.

most v smerovom oblúku: most umiestnený v úseku trasy prebiehajúcej celkovo alebo čiastočne v smerovom oblúku s nemenným pozdĺžnym sklonom. U železničných mostov je možné používať i obmeny názvu- most v oblúku, most v prechodnici. Podľa smerového prispôsobenia hlavnej nosnej konštrukcie sa rozoznáva most priamy, lomený a zakrivený.

most s normovanou zaťažovateľnosťou: most navrhnutý na náhodné zaťaženie odpovedajúce zaťažovacím podmienkam predpísaným v projektovej norme platnej toho času a na danom štátnom území.

betónový most: masívny most, ktorého hlavná nosná konštrukcia je aspoň v hlavných nosných poliach vyrobená z prostého betónu, ocelobetónu, predpätého betónu, ocelobetónu, alebo iného staviva pripraveného podľa betonárskeho princípu. Podľa použitého technologického postupu sa rozoznáva betónový most na monolitický a montovaný. Podľa základnej charakteristiky staviva mosty delíme: z prostého betónu, železobetónový, ocelobetónový a most z predpätého betónu.

monolitický most: betónový most, pri stavbe ktorého sa nosná konštrukcia aspoň v hlavných alebo vedľajších mostných poliach betónuje vcelku, alebo po častiach tak, že po dokončení betonáže tvorí hlavná nosná konštrukcia s ostatnými časťami nosnej konštrukcie jednoliaty celok bez nutnosti dodatočného spájania jednotlivých častí.

montovaný betónový most: betónový most, pri stavbe ktorého je nosná konštrukcia aspoň v hlavnom, alebo v hlavných mostných poliach zostavovaná z prefabrikátov – železobetónových, alebo z predpätého betónu.

oceľobetónový most: most s oceľovou hlavnou nosnou konštrukciou aspoň v hlavnom alebo v hlavných mostných poliach.

mostné pole: úsek hlavnej nosnej konštrukcie, ktorý premost'uje priestor medzi dvomi susednými mostnými podperami, alebo ktorý tvorí hlavnú nosnú konštrukciu za krajinou podperou. U rámových mostov sa používa tiež spresňujúci názov rámové pole, u kľembových mostov kľembové pole, u oblúkových mostov oblúkové pole.

os mostu: čiara totožná s osou prevádzanej komunikácie, u združených mostov pôdorysná čiara určovaná individuálne.

os nosnej konštrukcie: pôdorysný priemet zvislej roviny rozpolujúci najväčšiu šírku jednotlivých priečných rezov hlavnou nosnou konštrukciou a totožný spravidla s pôdorysným priemetom jej zvislej roviny súmernosti.

dĺžka premostenia: vodorovná vzdialenosť lícov krajných podpíer, koncov krakorcových mostných polí, poprípade krajných vnútorných lícov trubných mostov meraná v osi mostu a to pri hornej hrane úložných prahov, blokov alebo kvádrov pod pätkami klenieb alebo oblúkov pod nábehmi rámov v mieste najväčšej svetlosti krajných trúb.

dĺžka mostu: priemerná pozdĺžna vzdialenosť medzi koncami mostných krídel alebo medzi inými ukončeniami mostu, meraná v osi mostu.

výška mostu: najväčší výškový rozdiel medzi niveletou mostu a medzi povrchom premost'ovanej pozemnej komunikácie, niveletou premostňovanej pozemnej komunikácie, niveletou premostňovanej dráhy, dnom vodného toku alebo nádrže, terénom. atď..

rozpätie: vzájomná vzdialenosť dvoch susedných teoretických podporových bodov nosnej konštrukcie alebo konštrukčného dielu. U vložených oblúkov sa za rozpätie považuje vzájomná vzdialenosť päť strednice

spodná stavba mostu: časť mostu tvorená základom, podperami, kotviacimi blokmi, mostnými krídlami, závernými múrami.

základ mostu: súhrn základov jednotlivých podpíer, poprípade zvislý základ celého mostu.

podpera: zvislá alebo naklonená súčasť mostu, ktorá prenáša podporové tlaky nosnej konštrukcie na základ mostu. U oblúkových a kľembových mostov sa týmto názvom označuje i vlastný základový blok, nahrádzajúci nevybudovanú päťovú podperu. Tento termín nesmie byť zamieňaný s výrazom podpora (teoretické miesto uloženia) alebo používaný pre pomocné podoprenie.

opora: krajná podpera, ktorá zachytáva také tlaky zeminy a uzatvára krajný mostný otvor voči zemnému telesu alebo terénu.

nosná konštrukcia mostu: časť mostu, ktorá prenáša účinky náhodného zaťaženia z mostného zvršku na spodnú stavbu. Je tvorená buď všetkými, alebo len niektorými z konštrukčných zložiek zvaných: hlavná nosná konštrukcia, mostovka, stuženie, ložiska, mostné uzávery.

spriahnutá hlavná nosná konštrukcia: hlavná nosná konštrukcia využívajúca špeciálne zaistené spolupôsobenie dvoch konštrukčných častí z rôznych materiálov, alebo odlišne vystuženého betónu.

mostovka: zložka nosnej konštrukcie mostu, ktorej účelom je prenášať predovšetkým účinky zaťaženia z mostného zvršku na jeho hlavnú nosnú konštrukciu. Podľa polohy voči hlavnej nosnej konštrukcii sa rozoznáva mostovka dolná, horná, medzil'ahlá, zapustená. Podľa konštrukčnej povahy mostovka prvková a dosková.

ložisko: súčasť nosnej konštrukcie mostu, ktorá prenáša podporový tlak na podperu, poprípade inú časť nosnej konštrukcie. Ložisko zaist'uje určitú polohu popr. len smer tohoto podporového tlaku a umožňuje žiadúcu pohybovú voľnosť jednotlivých konštrukčných častí v oblasti ich uloženia. Podľa poskytovanej miery pohybových možností sa rozoznáva ložisko pevné, pohyblivé. Podľa teoretického rozsahu dotyku ložisko plošné, priamkové a bodové. Podľa materiálu oceľové, železobetónové, gumové, teflonové. Ak plní ložisko funkciu kĺbu, označuje sa názvom kĺbové ložisko.

pevné ložisko: ložisko, ktoré umožňuje iba pootočenie v jednom alebo viacerých smeroch. Týmto termínom sa zároveň nahrádza často používaný výraz „nehybné ložisko“.

pohyblivé ložisko: ložisko, ktoré umožňuje pootočenie i posun v jednom alebo viacerých smeroch. Podľa počtu posunových smerov sa rozoznáva ložisko jednosmerne pohyblivé, dvojsmerne pohyblivé, viacsmerne pohyblivé, všesmerne pohyblivé. Podľa konštrukčného riešenia pohybových možností sa rozoznáva ložisko kľzné, valcové, kyvné, guľové.

valcové ložisko: pohyblivé ložisko umožňujúce pohyb odvalovaním jedného valca, alebo viacerých valcov, čomu odpovedajú názvy: ložisko jednovalcové, dvojvalcové, poprípade viacvalcové.

mostný zvršok: časť mostu uložená priamo na jeho nosnej konštrukcii a skladajúca sa zo všetkých, alebo niektorých súčastí zvaných: u železničného mostného zvršku: koľajnica, upevňovadlá, pražce, štrkové lôžko, mostnicu, poistný uholník, ukončenie poistného uholníku, zaist'ovací uholník, mostná podlaha, obrubnica, káblový kanál, a pod. . Mimo to sa medzi mostný zvršok a nosnú konštrukciu umiestňuje v prípade potreby presypávka. U cestného mostného zvršku: vozovka, chodníkové, krajnicové alebo cyklistické spevnenie, odvodňovací pruh, odrazný pruh, obruba, deliaci pás, dopravný ostrovček, presypávka, mostná výplň, vyrovnávacia vrstva, izolácia, rímsa, mostná podlaha, obrubnica a pod..

zaťaženie: súhrn tiaží a vplyvov vyvolávajúce vnútorné napätie v mostnej konštrukcii.

stále zaťaženie: zaťaženie tvorené vlastnou tiažou mostnej konštrukcie, mostného zvršku, mostného vybavenia a cudzieho zariadenia a vplyvov plynúcich z povahy materiálu, okolnej zeminy a vody.

náhodné zaťaženie: zaťaženie tvorené tiažmi a základnými sprievodnými javmi plynúcimi z dopravného používania mostného objektu.

únosnosť: horná medzná hodnota vnútorných síl v rozhodujúcom priereze, pri prekročení ktorej dojde k narušeniu mostnej konštrukcie alebo jej stability vylučujúca jej ďalšie používanie bez rekonštrukčných zásahov.

životnosť: doba, počas ktorej je pôvodná mostná konštrukcia schopná slúžiť k požadovaným účelom bez ohľadu na eventuálne na nej prevedené opravy alebo úpravy ako zosilenie, rozšírenie, predĺženie, skrátenie, podoprenie a pod.. Životnosť mostu končí teda jeho zrušením, nahradením novým mostným objektom, poprípade násypom. Podľa dôvodu jej ukončenia sa rozlišuje životnosť na fyzickú a morálnu.

3. PROBLEMATIKA MERANIA POSUNOV A DEFORMÁCIÍ

Meranie posunov a deformácií stavebných objektov patrí v súčasnosti do pomerne technickej oblasti. Posuny a deformácie stavieb možno merať rozličnými fyzikálnymi metódami, medzi ktoré patria aj geodetické metódy. Prednosťou geodetických metód je najmä to, že poskytujú informácie o správaní sa objektov a ich konštrukčných častí vo všetkých smeroch v danom čase a to v relatívnych i absolútnych hodnotách. Ďalšou významnou vecou je fakt, že v tejto oblasti zaznamenávame dynamický technologický i metodický rozvoj. [4] Okrem klasických geodetických metód sa v súčasnej dobe používajú aj metódy družicovej geodézie a moderné 3D laserové skenovacie systémy.

3.1 Základné informácie o meraní posunov a deformácií stavebných objektov

Druhy meraných posunov:

Posuny stavieb všeobecne rozdeľujeme na **vodorovné a zvislé**, prípadne na **priestorové** posuny pozorovaných bodov. Vodorovný posun znamená vodorovnú zložku posunu pozorovaného bodu a v pravouhlej vzťažnej sústave sa udáva zložkami ΔY a ΔX . Zvislý posun vyjadruje zvislú zložku posunu pozorovaného bodu, zvyčajne sa označuje ako ΔZ alebo ΔH . Pri meraní deformácií konštrukcií inžinierskych stavieb a pri meraní dynamiky zosuvov pozorované body obyčajne zaznamenávajú zmenu v priestorovej polohe, ktorú označujeme zložkami ΔY , ΔX a ΔZ . [4]

Základné pojmy z terminológie merania posunov stavieb: [4]

Sadanie: zvislá zložka posunu smerom dole. Je vyvolané stlačením základovej pôdy.

Zdvíhanie: zvislá zložka posunu smerom hore

Naklonenie: odchýlenie zvislej osi objektu od zvislice

Pootočenie: uhlová odchýlka objektu od jeho pôvodnej polohy, pričom os otáčania je všeobecne položená

Priehyb, ohyb: pretvorenie konštrukcie objektu v smere kolmom na prevládajúci smer

Zosuv: jav vznikajúci účinkom zemskej tiaže pri porušení stability svahov

Vzťažný bod: polohovo alebo výškovo určený bod, ku ktorému sa vyjadrujú projektované parametre, alebo merané posuny a deformácie konštrukcií stavebného objektu

Vzťažná sústava: súbor vybraných pevných bodov, ktoré sú vo vzájomnom matematickom vzťahu, ku ktorým sa vyjadrujú priestorové zmeny v polohe a výške meraných bodov

Pevný bod: v prírode trvalo stabilizovaný bod mimo meraného objektu a jeho vplyvov, ktorého priestorová poloha sa počas merania nemení

Pozorovaný bod: bod na objekte alebo jeho časti, ktorým sa určujú posuny a deformácie konštrukcií objektu

Overovací bod: pevný bod na overovanie stálosti iných pevných bodov, napr. pripájacích bodov

Pripájací bod: pevný bod, z ktorého sa vychádza pri určovaní smerov, dĺžky, alebo výšky.

Účel merania posunov a deformácií stavebných objektov:

1. získavať podklady na posudzovanie správania sa základových pôd zaťažených objektom, prehlbovať teoretické vedomosti o vlastnostiach podložia a o pôsobení objektu na okolie,
2. porovnávať skutočné posuny a pretvorenia konštrukcií objektu s teoretickými hodnotami a overovať správnosť teoretických hodnôt
3. sledovať stav, funkčnú spoľahlivosť a bezpečnosť konštrukcií stavebného objektu,
4. sledovať vplyv rozličných fyzikálnych faktorov prostredia na zmeny v správaní sa konštrukcií objektu.

Poznanie skutočných posunov konštrukcií v rozsahu celej stavby umožňuje projektantom- statikom spätne stanoviť deformačný model a z toho vyplývajúce namáhanie základových pôd v daných podmienkach pri navrhnutom spôsobe zakladania. [4]

Posuny stavebných objektov sa merajú hlavne u takých stavieb, kde by mohli spôsobiť porušenie stability, bezpečnosti alebo funkčnosti stavby. Posun je definovaný ako zmena priestorovej polohy objektu alebo jeho časti. Merajú sa posuny **absolútne** (vzhľadom k vzťažnej sústave nezávislej na pozorovanom objekte) alebo **relatívne** (v sústave spojennej s objektom- zisťuje sa vzájomná zmena polohy časti objektu). Dôsledkom posunu dochádza niekedy k pretvoreniu objektu- zmene jeho geometrie a tvaru. Meranie posunov vychádza z pevných bodov, ktorých býva často niekoľko (podľa rozsahu objektu). Tieto body sú dôkladne stabilizované v dostatočnej vzdialenosti od pozorovaného objektu mimo jeho deformačnú zónu. Jeden z nich (väčšinou ten ktorý vykazuje najväčšiu dlhodobú stabilitu) sa zvolí ako východzí- pripojovací bod. Ostatné body sú overovacie, ktorými sa kontroluje stabilita pripojovacieho bodu. Sledovanie posunov sa realizuje prostredníctvom sústavy pozorovaných bodov umiestnených podľa projektu na vhodných charakteristických miestach objektu. Umiestnenie týchto bodov je určované hlavne statikom. [6]

Hustota merania posunov a deformácií:

Posuny sú merané podľa potreby buď **kontinuálne, alebo v etapách**. Etapy sa volia v takých intervaloch, aby bol plynule zachytený priebeh zmien geometrie objektu vrátane okolností, ktoré ich spôsobili. Po dobu výstavby objektu sa obyčajne meria minimálne v obdobiach nulového, štvrtinového, polovičného, trištvrtinového a plného zaťaženia základu. Výnimku tvoria prípady prejavou mimoriadne veľkých posunov v krátkom časovom rozpätí. Po ukončení výstavby a uvedení objektu do prevádzky sa posuny merajú v intervaloch podľa druhu a charakteru objektu, podľa geologických pomerov, alebo iných činiteľov majúcich vplyv na statiku objektu. Veľmi precízne je potreba vykonať meranie základnej (nulte) etapy, vzhľadom ku ktorej sa počítajú hodnoty posunov pozorovaných bodov v jednotlivých etapách. Spravidla sa toto meranie vykoná s dvojnásobným počtom meraných veličín oproti bežnej etape, najlepšie s vystriedaním rôznych podmienok prostredia. Pri meraní posunov je potreba okrem vlastných meraní zaznamenávať i hodnoty fyzikálnych faktorov

(poveternostné podmienky), stavebné podmienky, a ďalšie eventuálne faktory, ktoré môžu mať vplyv na presnosť merania. [7]

Presnosť merania posunov a deformácií:

Presnosť merania posunov a deformácií stavieb závisí od veľkosti a charakteru posunov za určitý čas. Za dostatočnú možno považovať presnosť, je pri minimálnych nákladoch na meranie dosiahnutý požadovaný účel merania. [4] Podmienky na stanovenie presnosti merania posunov sú bližšie charakterizované normou ČSN 73 0405- *Měření posunů stavebních objektů*. [20]

Podľa tejto normy je presnosť merania **nových** stavebných objektov charakterizovaná hodnotou medznej odchýlky určenia dĺžky výsledného vektoru posunu, alebo jeho zložky. Hodnota medznej odchýlky δ_1 v mm je stanovená:

$$(3.1) \quad \delta_1 \leq \frac{2}{15} p \quad \begin{array}{l} \delta_1 \dots \text{medzná odchýlka posunu} \\ p \dots \text{očakávaný celkový posun v mm} \end{array}$$

Pre objekty so zvýšenými požiadavkami na ich stálosť, spoľahlivosť, bezpečnosť a ekonomiku prevádzky (napr. výškové stavby vysoké viac ako 100 m) sa hodnota medznej odchýlky δ_1 stanoví individuálne o 1/3 prísnejšie, pokiaľ projektant nestanoví inak. Hodnota očakávaného posunu je stanovená projektantom- statikom.

Hodnota medznej odchýlky merania zvislého posunu u nových stavebných objektov nemá podľa charakteru základovej pôdy prekročiť hodnoty:

- a) $\delta_2 \leq 1,0$ mm pre skalné a poloskalné horniny
- b) $\delta_3 \leq 2$ mm pre piesčité, hlinité a iné stlačiteľné zeminy a zhutnené násypy
- c) $\delta_4 \leq 5$ mm pre nezhutnené násypy a silno stlačiteľné zeminy.

Hodnota medznej odchýlky merania posunov **existujúcich a užívaných** stavebných objektov nemá podľa charakteru základovej pôdy prekročiť hodnotu (v mm):

$$(3.2) \quad \delta_5 \leq \frac{2}{5} p_k \quad \begin{array}{l} \delta_5 \dots \text{medzná odchýlka posunu} \\ p_k \dots \text{kritická hodnota posunu v mm} \end{array}$$

Pri dosiahnutí kritickej hodnoty posunu dochádza k ohrozeniu sledovaného objektu. [20]

3.2 Metódy merania posunov a deformácií

Geometrická nivelácia:

Používa sa na meranie zvislých posunov, pričom je aj najčastejšou používanou metódou. Pri meraní posunov sa používa najviac metóda veľmi presnej nivelácie (VPN) a presnej nivelácie (PN). Nivelácia sa veľmi zhospodárnila zavedením elektronických nivelačných prístrojov umožňujúcich automatické odčítanie hodnoty z laty a jej zaregistrovanie do pamäti prístroja. Nivelácia je založená na princípe

merania pod vodorovnou zámernou priamkou s využitím nivelačného prístroja a nivelačnej laty. Prevýšenie medzi 2 bodmi je určené ako rozdiel hodnôt odčítaných z laty pri zámere vzad a zámere vpred. Metóda poskytuje absolútne hodnoty posunov sledovanej značky voči vzťažnej sieti. Pretože sa väčšinou jedná o veľmi presné práce, je potreba pri meraní striktne dodržiavať metodický postup nivelácie zo stredu. V špeciálnych prípadoch, napr. v priemyselných závodoch, kde sa objavujú osobitné klimatické podmienky, alebo nedostatočné priestorové pomery je treba použiť neštandardné postupy (zámery stranou, rozdielne dĺžky zámer, ...). V takýchto prípadoch musíme do výsledkov merania zavádzať rozličné korekcie. Pre zvýšenie spoľahlivosti výsledkov je snaha vždy merať nadbytočné prevýšenia v sieti nivelovaných bodov, tak aby mohlo dôjsť k vyrovnaniu. Základnou charakteristikou presnosti geometrickej nivelácie je stredná kilometrová chyba m_0 , ktorej hodnota sa za normálnych podmienok pohybuje v rozmedzí 0,3 až 0,5 mm. [4] [7]

Príklady z praxe, pri ktorých bola metóda použitá:

Meranie posunov metódou veľmi presnej nivelácie bolo realizované napr. na moste Apollo v Bratislave. S použitím prístroja Trimble DiNi 12 bola dosiahnutá presnosť určenia posunu charakterizovaná priemernou smerodatnou odchýlkou hodnoty 0,4 mm. [25]

Pri meraní posunov železničného mostu v Prahe- Braníku bola pri meraní s prístrojom Sokkia SDL2 dosiahnutá priemerná smerodatná odchýlka určenia výšky bodu 0,25 mm. [26]

Metóda veľmi presnej nivelácie bola použitá aj pri meraní zvislých posunov oporných stĺpov Letohrádku kráľovnej Anny na Pražskom hrade. Pri meraní s prístrojom Zeiss Ni 007 bola dosiahnutá priemerná smerodatná odchýlka posunov 0,07 mm. [27].

O vhodnosti použitia veľmi presnej nivelácie pri meraní posunov mostných objektov svedčí aj meranie uskutočnené počas zaťažovacej skúšky novostavby Dlouhého mostu v Českých Budejoviciach. Dosiahnutá priemerná smerodatná odchýlka meraných posunov činí 0,2 mm, čo predstavuje 0,5% z hodnoty očakávaného posunu konštrukcie pri zaťažovacej skúške. [28]

Pri meraní zvislých posunov na korune a lavičkách hrádzí hornej nádrže prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh bola dosiahnutá presnosť charakterizovaná strednou kilometrovou chybou menšou ako 0,4 mm. [29]

Hydrostatická nivelácia

Používa sa na meranie zvislých posunov. Metóda využíva fyzikálny zákon spojených nádob navzájom prepojených hadicou. Nevýhodou metódy je veľmi malý rozsah meraných prevýšení, z čoho vyplýva že výškové značky pozorovaných bodov musia byť osadené v rovnakom výškovom horizonte. Metóda je tiež zdĺhavá a vyžaduje zvláštne jednoúčelové prístrojové vybavenie [7]. Na druhej strane k prednostiam metódy patrí vysoká dosahovaná presnosť na úrovni veľmi presnej geometrickej nivelácie t.j. 0,1 až 0,01 mm [4]. Taktiež je metóda vhodná na meranie výškových zmien ťažko prístupných bodov. Za pomoci automatizovaných meracích súprav s elektronickým odčítaním úrovne hladiny v nádobách je možné meranie posunov v priestoroch, kde by bolo ohrozené ľudské zdravie (napr. reaktorové haly jadrových elektrární). Tieto prístroje umožňujú kontinuálne sledovanie posunov s registráciou hodnôt v ľubovoľných intervaloch. Napríklad číslíkový automatický

výškomer vyvinutý SAV umožňuje meranie výškového rozdielu dvoch bodov do vzdialenosti 50 m s chybou $\pm 0,01$ mm. Maximálny výškový rozsah je 60 mm (± 30 mm). [4]

Príklady z praxe, pri ktorých bola metóda použitá:

Pri experimentálnom meraní náklonu objektov reaktorov v jadrovej elektrárni Jaslovské Bohunice bola dosiahnutá smerodatná odchýlka meraného prevýšenia pozorovaných bodov o hodnote 0,014 mm. [34]

Trigonometrické meranie posunov

Trigonometrickou metódou možno určovať priestorové zmeny v polohe pozorovaných bodov, t.j. zmeny v smere ΔY , ΔX a ΔZ v relatívnych i absolútnych hodnotách. Metóda je založená na meraní vodorovných, zvislých uhlov a dĺžok z jedného, dvoch alebo troch pevných bodov- stanovísk prístroja. Podľa konfigurácie a meraných veličín možno špecifikovať viacero variant určenia polohy bodu pomocou trigonometrickej metódy. Medzi základné varianty patria pretínanie vpred z uhlov, pretínanie z dĺžok, určenie polohy bodu pomocou polárnych súradníc, určenie prevýšenia z meraných zenitových uhlov a šikmých dĺžok. Trigonometrická metóda je výhodná v prípade väčších prevýšení medzi sledovanými bodmi a umožňuje meranie posunov aj za okolností nevhodných pre niveláciu. Používa sa napríklad pre meranie posunov bodov umiestnených na neprístupných miestach, napr. na mostovke mostu. [4] Častokrát sa s výhodou používa metóda merania na voľnom stanovisku, kedy je meranie pripojené zámerami na vzťažné body. Takto je možné určovať posuny absolútne i relatívne. Nevýhodou metódy je výrazné ovplyvnenie presnosti meraných veličín refrakciou. Presnosť merania závisí na prostredí, presnosti prístroja a kvalite meračských značiek. Pri dodržovaní zásad presného merania uhlov je možné pri dĺžke zámery 100 m dosiahnuť presnosť výšky charakterizovanú strednou chybou o hodnote 0,3 mm.

Príklady z praxe, pri ktorých bola metóda použitá:

Pri kontrolných meraniach sypanej hrádze priehrady Ružín metódou pretínania vpred z uhlov bola s teodolitom Kern DKM 2A dosiahnutá presnosť určenia polohy aj výšky bodu na úrovni strednej chyby 0,3 mm. [4]

Pri meraní priečných posunov na priehradnej hrádzi v Nemecku s prístrojom Leica TC 2003 v troch skupinách bola dosiahnutá presnosť určenia posunu bodu menej ako 1 mm. [24]

Metóda presnej trigonometrie bola použitá aj pri meraní zvislých posunov oporných stĺpov Letohrádku kráľovnej Anny na Pražskom hrade. Pri meraní s teodolitom TC1800 boli dosiahnuté smerodatné odchýlky posunov v rozmedzí 0,2 až 0,5 mm v závislosti od dĺžky zámery, ktorá sa pohybovala v rozmedzí 8 a 63 m. [27]

Pri meraní vodorovných a zvislých posunov na objekte prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh bol použitý teodolit Kern E2 ($m_r = 2''$, $m_z = 3''$) a diaľkomer Kern ME 5000 ($m_s = 0,5$ mm). Meranie bolo prevedené metódou pretínania vpred z 3 bodov. Veľkosť smerodatných odchýliek vyrovnaných vodorovných súradníc sa pohybovala od 1 do 4 mm. Pri meraní vodorovných posunov vzťažnej sústavy bola smerodatná odchýlka súradníc menšia ako 1 mm. Smerodatné odchýlky výšok bodov boli v rozmedzí od 1 do 3 mm. [29]

Fotogrammetrické meranie posunov

Prednosťou fotogrammetrických metód oproti ostatným geodetickým metódam je možnosť rýchlo, prakticky súčasne zaregistrovať posuny veľkého množstva bodov a to vo vertikálnom aj horizontálnom smere. Ďalšia osobitosť metód spočíva v tom, že meranie nevykonávame priamo na objekte, ale na jeho optickom modeli, ktorý vznikne pri stereoskopickom meraní dvojice meračských snímok sledovaného objektu. [4] Nevýhodou fotogrammetrických metód je nižšia dosahovaná presnosť, ktorá klesá so vzdialenosťou objektu od miesta fotografovania. Ďalšou nevýhodou môže byť potreba laboratórneho spracovania snímok, ktoré sa v minulosti vykonávalo na špeciálnych prístrojoch- stereokomparátory (Zeiss 1818). Dnes pri digitálnych snímkoch sa toto spracovanie vykonáva pomocou počítačov so špeciálnym software. Z tohto dôvodu táto metóda nie je schopná poskytovať výsledky v krátkom časovom odstupe. Pre fotogrammetrické meranie posunov sa používajú dve metódy pozemnej fotogrammetrie:

Jednosnímková metóda s časovou základňou: dovoľuje určovať posuny a deformácie len v rovine snímku. Snímkuje sa z toho istého stanoviska v dvoch časových okamihoch. Pri stereoskopickom vyhodnotení takejto dvojice vzniká optický model, ktorý je možné premerať a určiť deformačné paralaxy, pomocou ktorých sa vypočítajú zložky posunov dX a dY .

Pozemná stereofotogrammetria s reálnou základňou: umožňuje zisťovať všetky tri zložky posunov a deformácií. Pri tejto metóde sa snímkuje súčasne z dvoch koncových bodov fotogrammetrickej základne, najčastejšie v tzv. normálnom prípade (osi fotografovania sú kolmé k smeru základne). Vyhodnotuje sa štandardnými postupmi stereofotogrammetrie a hľadané posuny sa získajú pomocou deformačných paralax snímkových dvojíc na pravom a ľavom stanovisku. [7] Metóda sa používa napr. pri meraní posunov sypaných priehrad, pri meraní dynamiky tvarových zmien podkopaných území a zosuvov, meraní deformácií tunelov, mostných objektov. [4]

Príklady z praxe, pri ktorých bola metóda použitá:

Fotogrammetrická metóda s reálnou základňou bola použitá pri meraní deformácií vrát plavebnej komory VD Gabčíkovo počas zaťažkávacej skúšky. Pri presnosti určenia vlícovacích bodov so smerodatnou odchýlkou 1-2 mm boli priestorové súradnice pozorovaných bodov určené so smerodatnou odchýlkou 1-3 mm, v závislosti od ich umiestnenia. [30]

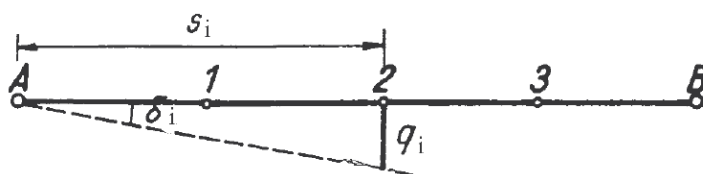
Pri meraní posunov a deformácií sypanej hrádze priehrady Bukovec II pomocou optického teodolitu boli dosiahnuté smerodatké odchýlky polohových súradníc o hodnote 3,2 mm a smerodatná odchýlka výšky bola 3,4 mm. [31]

Pre meranie deformácií ocelového nosníku počas laboratórneho zaťažovacieho testu bola použitá fotogrammetrická metóda s reálnou základňou, pričom objekt bol fotografovaný z 5 stanovísk a jeho vzdialenosť od prístroja bola 1,5 m. Dosiahnutá priestorová presnosť meraných bodov charakterizovaná priemernou smerodatnou odchýlkou činila 0,1 mm. [33]

Metóda zámernej priamky:

Je to jednoduchá a pomerne presná metóda merania horizontálnych posunov. Obmedzenie spočíva v tom že sme schopní určovať len posuny v smere kolmom k zámernej priamke. Určuje teda len jednu zložku horizontálneho posunu. Princípom je buď priame, alebo nepriame určovanie priečnych odchýliek

pozorovaných bodov voči danej priamke stabilizovanej bodmi mimo sledovaný objekt. Pri priamom spôsobe merania sa odčíta zámerným krížom teodolitu priečna stupnica s pevným, alebo posuvným zámerným terčom. Tento spôsob možno použiť len pre posuny menšie ako je rozsah pomocnej stupnice. Pri nepriamej metóde sa priečný posun odvodzuje z meraného paralaktického uhla medzi smerom zámernej priamky so smerom na pozorovaný bod pri jeho známej vzdialenosti. [7] Metódu zámernej priamky je vhodné použiť napr. pre meranie posunu koruny priehrad, alebo meranie priečných ochýliek žeriavovej dráhy. Pri meraní touto metódou je možné dosiahnuť presnosť $\pm 0,2$ až $\pm 0,4$ mm. Na meranie posunov od zámernej priamky sa pre zefektívnenie práce používajú aj laserové prístroje. Touto metódou je možnosť určiť posun s presnosťou $\pm 0,6$ až $\pm 1,2$ mm. [4]



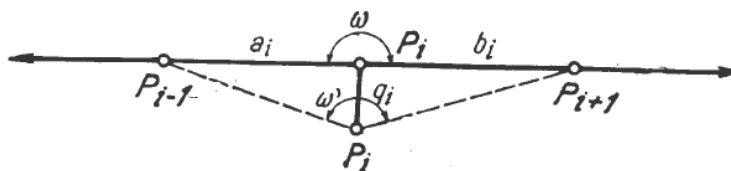
Obr. 1: Metóda zámernej priamky [7]

Príklady z praxe, pri ktorých bola metóda použitá:

Pri meraní priečných posunov na priehradnej hrádzi v Nemecku bola dosiahnutá presnosť určenia posunu bodu na úrovni 0,3 mm. [24]

Polygonometrické meranie posunov:

Princíp polygonometrickej metódy spočíva v presnom meraní uhlov a dĺžok vhodne umiestneného polygonového ťahu na meranom objekte. Najvhodnejšie sú priame obojstranne pripojené polygonové ťahy s rovnakými dĺžkami strán. V tomto prípade ide o osobitý prípad predĺženej zámernej priamky. Priečne posuny pozorovaných bodov polygonového ťahu sa určujú na základe zmien vrcholových uhlov, pokiaľ sa predpokladá, že dĺžky strán polygonu sa v podstate nemenia. Priečný posun vypočítame z odchýliek vo vrcholových uhloch medzi základným a etapovým meraním, alebo z odchýliek súradníc bodov polygonu. Pri dĺžke ťahu 400 m a pri 6 polygonových stranách sa presnosť uprostred ťahu (v mieste kde je najhoršia) pohybuje okolo 0,7 mm.



Obr. 2: Polygonometrické meranie posunov [7]

Metóda GNSS:

Je relatívne nová metóda založená na princípe prijímu signálu z družíc GPS a riešenia vektoru medzi referenčnou stanicou a roverom, ktorá sa začína stále viac uplatňovať s rozvojom globálnych navigačných systémov (GNSS). Metóda je vhodná pre rozsiahle územia veľkosti do cca 10 km. V súčasnej dobe predstavuje zaujímavú alternatívu klasických geodetických metód a v mnohých prípadoch môže byť jej použitie výhodnejšie z hľadiska lepšej operatívosti, menšej závislosti na miestnych

podmienkach a nižších personálnych nárokov. GNSS merania sú ovplyvňované množstvom faktorov majúcich priamy vplyv na presnosť a spoľahlivosť výsledných posunov. Na druhej strane softwarové produkty pre spracovávanie GNSS meraní dnes umožňujú stále pokročilejšie spracovanie meraných dát. Presnosť merania závisí aj na zvolenej metóde merania. Použitie metódy GNSS sa často kombinuje s klasickými geodetickými metódami. Najväčšej presnosti je možno dosiahnuť pri použití statickej metódy. Presnosť určenia bodu sa pohybuje v rozmedzí 1-3 mm. Nevýhodou tejto metódy je dlhý čas observácie na meranom bode. Ďalšími používanými metódami sú metódy Stop & Go a RTK. Tieto metódy sa vyznačujú krátkym časom observácie na určovanom bode. Presnosť merania výškovej zložky je u GNSS asi 2- 2,5-krát nižšia ako presnosť merania polohovej zložky.

Príklady z praxe, pri ktorých bola metóda použitá:

Metóda Stop & Go bola použitá napríklad pri meraní posunov a deformácií železničného zvršku Ivančického viaduktu, kde bola pri použití dvojfrekvenčných aparatúr Leica SR299 a SR399 dosiahnutá horizontálna presnosť 5- 7 mm a presnosť výškovej zložky dosahovala 10-15 mm. [7]

Pri meraní vodorovných posunov bodov umiestnených na telese sypanej hrádze Liptovskej Mary s prístrojmi Trimble 4000SSi s anténami Microcentered L1/L2 GP bola použitá statická metóda dĺžkou observácie 15 min. Dosiahnutá smerodatná odchýlka polohových súradníc činila 2,5 mm. [32]

Na základe experimentálneho testovania presnosti merania dosahovanej metódou GPS- RTK bolo zistené, že pri použití optimalizovaných meracích postupov (napr. doba observácie 5 min) je možné dosiahnuť presnosť charakterizovanú hodnotou rozšírenej neistoty ($P=0,95$) 5 mm u polohy a 10 mm u výšky. [35]

Laserové skenovanie:

Zaujímavou možnosťou, ktorá sa ponúka v oblasti merania deformácií, je technológia laserového skenovania, ktorá umožňuje meranie výškových i vodorovných posunov. Táto technológia nedosahuje pre jednotlivé body takej presnosti ako dlhodobá observácia GNSS alebo presná totálna stanica, ale tento nedostatok prekonáva v rýchlosti merania, hustote bodov a komplexnosti zachytenia povrchu. Vďaka vysokej rýchlosti zberu dát je možné využitie tejto technológie i pre meranie dynamických procesov, akým je napríklad deformácia mostu pri zaťažovacej skúške. Základnou metódou vyhodnotenia deformácii je rozdielový digitálny model terénu alebo digitálny model posunov. Preto je najprv nutné pretransformovať všetky namerané dáta do takého súradnicového systému, ktorý má osi orientované identicky s význačnými smermi očakávaných posunov. Zaujímavou možnosťou ako prezentovať namerané dáta je tzv. metóda priemerných posunov. Táto metóda je založená na spriemerovaní výsledkov z rozdielového modelu v oblastiach, v ktorých sa predpokladá rovnaký posun. Táto metóda umožňuje jednoduchšiu interpretáciu výsledkov a taktiež ich vyššiu presnosť (niekedy až trojnásobne). [22]

Laserové skenovanie využíva princíp pulzného bezodrazového diaľkomera, ktorý pracuje s vysokou frekvenciou, rádovo v desiatkách a stovkách tisíc hertzov. Dosah metódy je približne do 200 m, podľa použitého typu skenera. Výsledkom merania je mračno bodov s trojrozmernými priestorovými súradnicami. Presnosť určených priestorových vzťahov sa pohybuje rádovo v milimetroch. Metóda sa používa hlavne pre dokumentáciu veľmi zložitých konštrukcií. [21]

Príklady z praxe, pri ktorých bola metóda použitá:

Táto metóda bola použitá napr. pri meraní plošných dynamických deformácií vrát plavebnej komory vodného diela Gabčíkovo. Pri tomto meraní s prístrojom Leica HDS3000 bola dosiahnutá presnosť charakterizovaná smerodatnou odchýlkou posunu bodu o hodnote 2 mm. Pri použití metódy priemerných posunov dosahovala smerodatná odchýlka priemerného posunu hodnotu 1 mm.

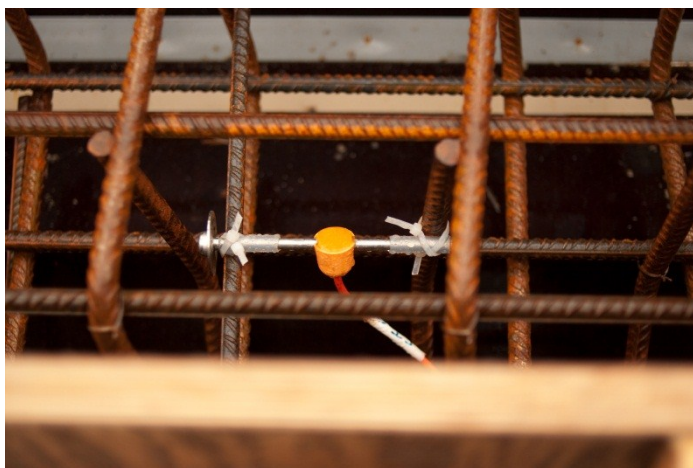
Ďalej bola táto metóda použitá aj pri meraní deformácii žeriavovej dráhy v strojovni VE v Gabčíkove. Pri meraní tejto úlohy bola dosiahnutá smerodatná odchýlka určenia parametrov dráhy menšia ako 1 mm. [22]

Pri určení posunov a deformácii tunelu „Nové spojenie“ s prístrojom Leica HDS3000 bola dosiahnutá smerodatná odchýlka posunu jedného bodu o hodnote 3 mm. Pri použití metódy priemerných posunov táto hodnota dosahovala 1 mm. [23]

Fyzikálne metódy merania posunov a deformácií:

Tieto metódy nepatria medzi geodetické metódy. Využitie majú pri meraní relatívnych posunov s vysokou presnosťou. Často sa používajú na kontinuálne meranie s automatickou registráciou nameraných dát vo zvolenom časovom intervale. Často sa jedná o extenzometrické a inklinometrické merania. Pri meraní sa často využívajú aj tenzometre. Sú to prístroje pracujúce na mechanickom, optickom, elektrickom, či elektronickom princípe a slúžia k meraniu relatívnych deformácií stavebných konštrukcií. Často bývajú zabudované do sledovanej konštrukcie.

Pre určovanie malých dĺžkových zmien sa podobne používajú deformetre či tyčové meradlá. Medzi ďalšie fyzikálne meradlá patria aj elektronické digitálne libely a sklonomery (klinometre), ktorými je možné merať relatívne zmeny sklonu s presnosťou rádovo 0,01- 0,05 mm na 1 m dĺžky. Na mechanickom princípe pracujú aj v praxi rozšírené číselníkové odchytkomery (indikátorové hodinky) merajúce dĺžkové zmeny s presnosťou 0,01 mm. Zmeny zvislosti (náklon) sa merajú pomocou špeciálnych kyvadiel alebo optických prevažovacích prístrojov. Medzi najpresnejšie metódy patrí laserová interferometria (dosahujúca presnosť pri meraní v atmosfére cca 10^{-7} m). [35]

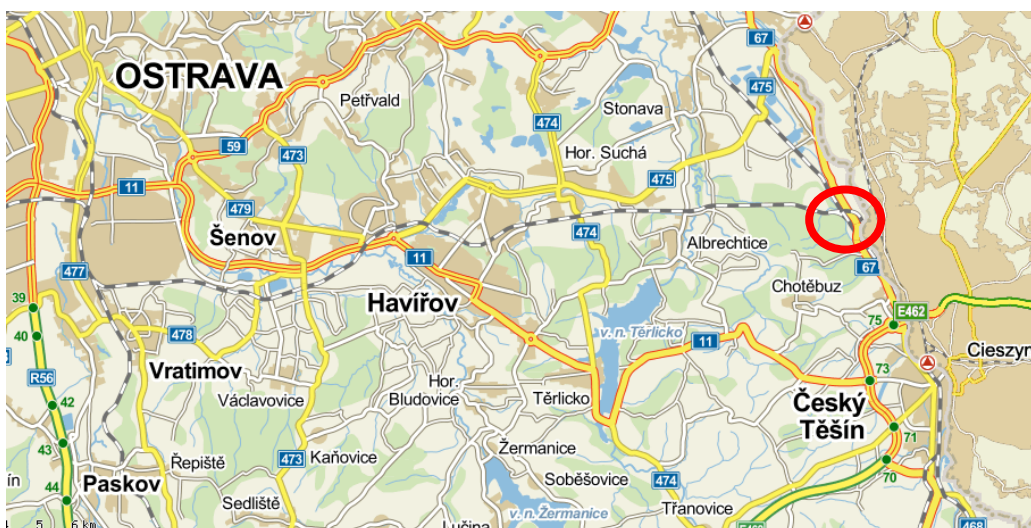


Obr. 3: Tenzometrický merací systém [10]

4. ZÁKLADNÉ ÚDAJE O SLEDOVANEJ MOSTNEJ KONŠTRUKCII- MOSTU GAGARIN

4.1 Lokalizácia mostu Gagarin

Most Gagarin sa nachádza na km 5,897 trate Český Tešín- Ostrava Kunčice. V celkovej dĺžke 150 m tento jednokoľajný most premostuje cestu prvej triedy I/67, dvojkoľajnú železničnú trať, miestnu komunikáciu a potok. Názov mostu pochádza z doby jeho výstavby, keď do vesmíru letel prvý človek. Táto neoficiálna prezývka mu už zostala. [11]



Obr. 4: Lokalizácia mostu



Obr. 5: Južný pohľad na most [10]

4.2 Pôvodná konštrukcia mostého objektu

Pôvodná konštrukcia mostného objektu bola postavená v rokoch 1960 až 1961. Objekt je postavený v smerovom oblúku o polomere $R = 450$ m. Založenie mostu je plošné, pozostáva z piatich mostných polí. Jednotlivé polia sú prosté s teoretickým rozpetím 30,00 m a konštrukčne pozostávajú zo štyroch predpätých nosníkov tvaru „I“. Tieto nosníky sú 2,00 m vysoké, 0,96 m široké a sú zostavené z troch dielcov uložené na typizovaných ocelových ložiskách - pevné ložiská sú ocelové tangenciálne, pohyblivé sú dvojvalcové. Tieto dielce sú spojené dobetónovanou priečnou špárrou a pozdĺžnym predpätím, ktoré je realizované pomocou 30 káblov z usmernených patentovaných drôtov o priemere 4,5 mm. Pozdĺžne špáry medzi nosníkmi boli zabetónované a následne boli všetky štyri nosníky priečne spojené (zmonolitnené) pomocou priečných predpínacích káblov prechádzajúcich cez dolnú a hornú prírubu. Existujúci mostný zvršok so štrkovým lôžkom bol pre dnešnú dobu nevyhovujúci z hľadiska nedostatočných šírkových a výškových parametrov, ktoré neumožňovali priebežné strojné čistenie. [11]

4.3 Rekonštrukcia mostého objektu

Rekonštrukcia mostného objektu riešila jeho nevyhovujúci stavebno-technický stav, hlavne závažné statické poruchy nosných konštrukcií spôsobené prevažne vplyvom zrážkových vôd pretekajúcich nefunkčnými izoláciami do nosných konštrukcií. Za účelom prekázania dostatočnej kvality materiálov mostného objektu bola najprv realizovaná jeho diagnostika a statická analýza. Cieľom diagnostiky bolo získať dáta a podklady pre rekonštrukciu mostu a pre rozhodnutie, či je zmysluplné ponechať a zosilniť existujúcu konštrukciu alebo či existujúcu konštrukciu odstrániť a realizovať výstavbu nového mosta. Diagnostika bola doplnená základným statickým výpočtom zaťažiteľnosti existujúcej konštrukcie a výpočtom zosilenia, ktorý predbežne preukázal vhodnosť rekonštrukcie i po statickej stránke. Diagnostika mostu Gagarin preukázala dostatočnú kvalitu betónu hlavnej nosnej konštrukcie, ktorá bola nutným predpokladom pre ďalšie, odhadom 50 ročné využívanie mostu. Zosilenie konštrukcie a rekonštrukcia mostného objektu predstavovala iba 30 percentné náklady oproti výstavbe nového mostu. Zosilenie konštrukcie mostu bolo vyvolané plánovanou potrebou celkovej rekonštrukcie z dôvodu jeho modernizácie s cieľom prevedenia vlakov UIC a taktiež nového zaťaženia uvedeného v európskej norme pod skratkou SW2. Pôvodná predpätá konštrukcia bola zosilená spriahnutou doskou v tvare koryta s priebežným štrkovým lôžkom a dodatočným predpätím voľnými káblami. Hmotnosť nového koryta sa síce zvýšila o 50 %, ale analýza dokladala takmer dvojnásobné zmenšenie priehybu vplyvom významného zvýšenia tuhosti hlavnej nosnej konštrukcie. Súčasťou sanácie spodnej stavby bola oprava a nové osadenie ložísk. Statický výpočet predpokladal výstavbu zosilujúcej konštrukcie na pôvodnej nosnej konštrukcii po odstránení všetkých existujúcich vrstiev zvršku až na horný povrch nosníkov. Betonáž nového koryta štrkového lôžka prebiehala bez podoprenia nosníkov a tiaž čerstvého betónu bola prenášaná pôvodnou, po znesení

zvršku odľahčenou, nosnou konštrukciou. Vplyv zväčšenej vlastnej tiaže bol následne zmenšený dodatočným predpätím voľnými káblami. Nasledovalo zabetónovanie kotevných oblastí, ošetrovanie kotiev pôvodných, zhotovenie štrkového lôžka a koľaje. [10] [11]



Obr. 6: Rekonštrukcia mostu [11]

4.4 Monitorovanie posunov a deformácií mostného objektu

Vzhľadom k ojedinelosti a výnimočnosti tejto rekonštrukcie bolo nutné zaistiť sledovanie stavu konštrukcie objektu ako počas rekonštrukcie tak aj po jej skončení a uvedení mostu do prevádzky. K tomuto účelu boli použité metódy geodetické v kombinácii s tenzometrickou metódou a metódou merania napínacej sily v predpínacích kábloch, ktorá bola realizovaná pomocou magnetoelastických snímačov inštalovaných priamo na sledovaných predpínacích kábloch. Tenzometrický systém pozostával sústavou 36 strunových tenzometrov pre trvalé meranie, ktoré boli osadené jednak na povrch betónových nosníkov ako aj do betónu nového spriahnutého železobetónového koryta.

Najväčší dôraz je kladený na geodetické metódy monitoringu, ktoré sú schopné poskytovať absolútne hodnoty posunov, zatiaľ čo ostatné použité metódy iba relatívne. Tento systém je tvorený sústavou vhodne rozmiestnených meračských značiek osadených na sledovanej konštrukcii, vzťahným systémom, ktorý je umiestnený mimo deformačnej zóny objektu, čím umožňuje okrem relatívnych vzťahov sledovať aj vzťahy absolútne.



Obr. 7: Značka na mostovke [10]

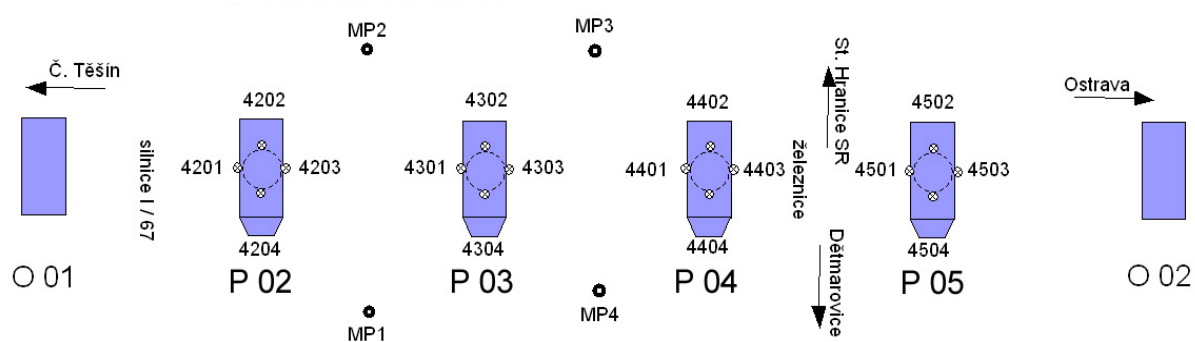
Jedným z najdôležitejších aspektov je rozmiestnenie a počet meračských značiek na sledovanom objekte, ktorý je navrhovaný statikom v spolupráci s geodetom na miestach kde dochádza k význačným posunom. [10] [12]

Na sledovanom moste boli použité špeciálne značky typu „svetelný bod“, ktoré boli vyvinuté špeciálne pre tento účel. Sú určené ako na denné, tak i na nočné meranie, pričom inštalovanú diódu je možné aktivovať pomocou diaľkového ovládača. Nočné meranie je nutné vykonať počas zaťažovacej skúšky, ktorú je nutné vykonať v noci z dôvodu zmien v konštrukcii spôsobených slnečným žiarením. Zámerný terč okolo svetelného bodu je vyrobený z odrazného materiálu, ktorý umožňuje dĺžkové meranie aj pomocou klasického hranolového elektronického diaľkomeru bez použitia odrazného hranolu. Tento typ značiek bol použitý pre metódu **presnej trigonometrie** na neprístupných bodoch mostnej konštrukcie. Značky sú umiestnené na mostovke druhého a tretieho mostného poľa nad ložiskami, na vonkajších nosníkoch uprostred mostných polí a na podperách. Toto rozmiestnenie meračských značiek umožňuje sledovať zmeny stlačenia ložisiek a priehyby mostných polí, pričom značky umiestnené na podperách tvoria vzťažnú sústavu, pričom jednotlivé posuny boli určované relatívne z týchto značiek. [10] [12]

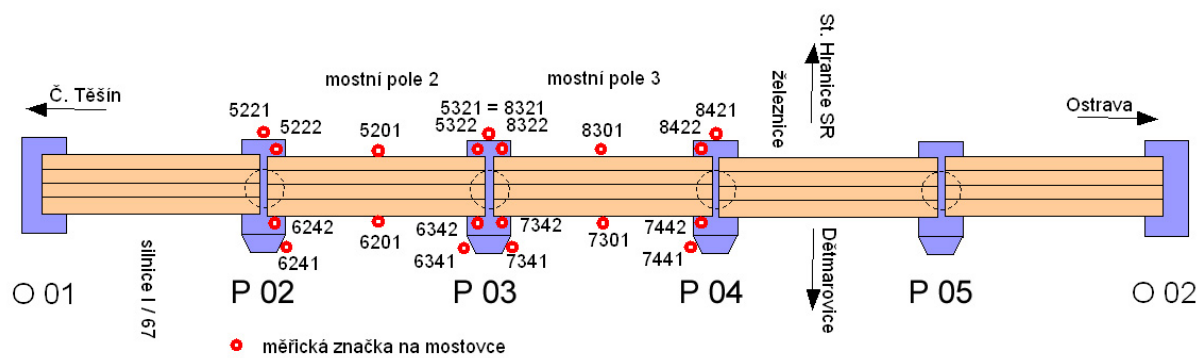
Pre určenie posunov a deformácií spodnej stavby mostu bola použitá geodetická metóda **presnej nivelácie** s použitím elektronického nivelačného prístroja. Pre stabilizáciu objektovej sústavy sledovaných bodov boli použité čapové nivelačné značky. Značky sú umiestnené na pilieroch mostu, pričom na každom pilieri sú osadené štyri, aby bolo možné sledovať posuny jak v smere pozdĺžnom, tak i v smere priečnom. Vzťažnú sústavu tvorí sústava štyroch mikropilót v okolí mostu. V okolí objektu je rozmiestnených aj niekoľko kontrolných bodov, ktorými sú klinec nivelačné značky umiestnené na neďalekom priepustku (na ceste 1/67), čapové značky na opore mostu a značky na pätkách stožiarov trakčného vedenia železničnej trate a iných okolitých objektoch.



Obr. 8: Niveláčna značka na podpere [10]



Obr. 9: Rozmiestnenie sledovaných bodov spodnej stavby a bodov vzťažnej sústavy [10]



Obr. 10: Rozmiestnenie sledovaných bodov umiestnených na nosnej konštrukcii mostu [10]

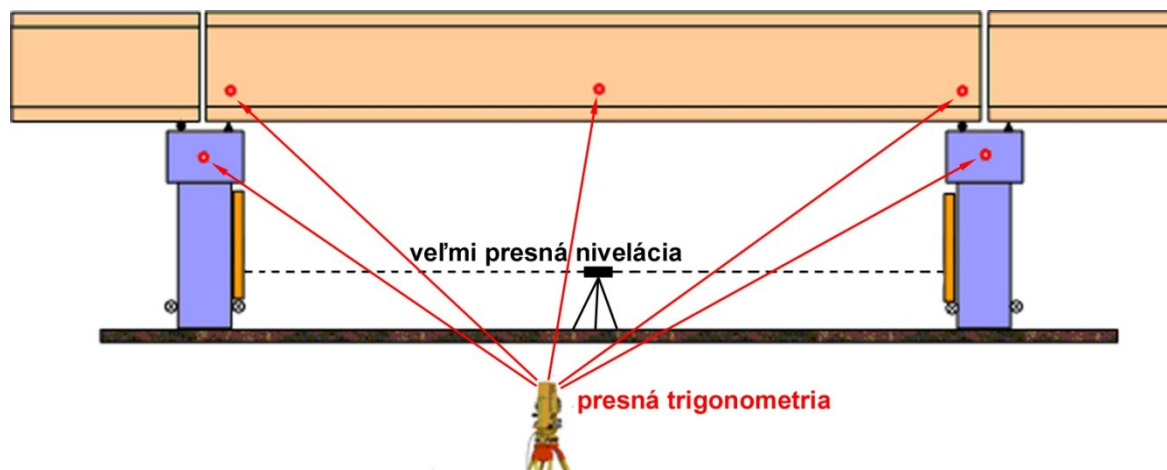
5. ROZBOR PRESNOSTI PRED MERANÍM

Pred vykonaním meračských prác je nevyhnutné vykonať rozbor presnosti, čo následne zaisťuje prevedenie merania s dostatočnou presnosťou, ktorú vyžaduje daná úloha. Východzou veličinou vstupujúcou do rozboru presnosti býva väčšinou medzná hodnota zisťovaného geometrického parametru, ktorá musí byť dosiahnutá či už z požiadaviek objednávateľa, projektanta, ale aj legislatívneho predpisu a normy. V prípade merania posunov a deformácií objektov je táto hodnota stanovená predovšetkým statikom s ohľadom na typ, pevnosť a stabilitu konštrukcie s prihliadnutím na geologické pomery podložia objektu. Vo veľkom množstve prípadov táto požiadavka na minimálnu presnosť stanovenia posunu meraním nebýva reprezentovaná už spomínanou medznou hodnotou, ale hodnotami očakávaných posunov, napríklad v rádoch milimetra, alebo desiatin milimetra. Podobne tak bola požadovaná presnosť zamerania vyjadrená aj pri riešenom mostnom objekte Gagarin.

Najväčší dôraz na presnosť sa kládol na časť konštrukcie kde očakávané vertikálne posuny dosahujú najmenších hodnôt, preto musia byť určené s vysokou presnosťou tak aby bolo možné zistiť aj minimálne posuny. V prípade riešeného objektu takúto časť konštrukcie reprezentuje spodná stavba mostu, ktorá je tvorená štyrmi podperami kruhového prierezu. Očakávané vertikálne posuny spodnej stavby sa pohybujú v intervale niekoľkých desiatin milimetra až milimeter. Z tohto dôvodu bola zvolená metóda veľmi presnej nivelácie, ktorá je schopná poskytovať veľmi spoľahlivé výsledky pre práce tohto typu. Pre dosiahnutie čo najvyššej presnosti bol zvolený elektronický nivelačný prístroj Leica DNA 03 s použitím kódovej invarovej laty. Rozlišovacia schopnosť tohto prístroja predstavuje hodnotu 0,01 mm. Výrobcom uvádzaná smerodatná odchýlka jedného prevýšenia činí 0,05 mm, pričom na základe prevedených testov (viď nasledujúca podkapitola) bolo preukázané, že pri vzdialenosti nivelačných značiek do 30 m (najdlhšia meraná zostava) sme schopní dosiahnuť smerodatnú odchýlku v rozmedzí 0,02 až 0,05 mm. Po započítaní ostatných chybových vplyvov, akými sú napríklad nerovnosť pätky nivelačnej laty a nevodorovnosť zámernej priamky sme schopní interpretovať posuny v rozmedzí $\pm 0,1$ až $\pm 0,2$ mm s pravdepodobnosťou $P = 0,95$ (rozšírená neistota). [10] Táto presnosť je pre zameranie spodnej stavby konštrukcie mostu vzhľadom na očakávané posuny plno dostačujúca.

Predmetom ďalšieho merania konštrukcie bol hlavne priehyb stredov mostných polí, kde očakávané posuny sa pohybujú v intervale niekoľko desiatin až niekoľko milimetrov. Nakoľko sa meračské značky nachádzajú uprostred mostných polí v značnej výške nad zemou, metódu veľmi presnej nivelácie nie je možné použiť. Z tohto dôvodu je nutné k zameraniu tejto časti konštrukcie použiť metódu presnej trigonometrie s využitím elektronickej totálnej stanice Topcon GTS 300. Pri meraní uhlov v laboratórnej jednotke je možné dosiahnuť presnosť ± 5 mGon, čo odpovedá presnosti $\pm 0,24$ mm v priestorovej polohe na 30 metrov vzdialenosti od meraného bodu. [10]

Táto presnosť umožňuje interpretovať hodnoty posunov väčšie ako $\pm 0,5$ až $\pm 0,7$ mm s pravdepodobnosťou $P = 0,95$ (rozšírená neistota), čo je v porovnaní s očakávanými posunmi z pohľadu presnosti metódy dostačujúce.



Obr. 11: Použité metódy zamerania posunov jednotlivých častí mostnej konštrukcie

6. KALIBRÁCIA PRÍSTROJOV

Nakoľko sa jedná o práce vyžadujúce pomerne vysokú presnosť, bolo nutné previesť kalibráciu prístrojov v daných podmienkach. Účelom kalibrácie bolo overenie presnosti použitých prístrojov a pomôcok deklarovanej výrobcom, so zistením príslušných korekcií za účelom maximálnej eliminácie systematických chýb. Vlastnou náplňou tejto kalibrácie bolo zistenie nevodorovnosti zámernej priamky a stanovenie závislosti presnosti meraného prevýšenia na dĺžke zostavy u elektronického nivelačného prístroja Leica DNA 03, overenie rovinnosti a určenie odchýliek pätky nivelačnej kódovej invarovej laty. U trigonometrickej metódy kalibrácia spočívala v zistení súčtovej konštanty odrazného terča a overenia vhodnosti jeho použitia.

6.1 Overenie rovinnosti pätky nivelačnej laty

Rovinnosti pätky nivelačnej laty sa prikladá pri tomto type úlohy značná pozornosť z dôvodu častého postavenia nivelačnej laty na rôzne časti jej pätky. Toto postavenie si vyžaduje rôzne osadenie jednotlivých nivelačných značiek. Test rovinnosti pätky bol vykonaný na použitej 2 m nivelačnej late Leica GWCL182 (výrobné číslo 0021). Postup testu bol nasledovný: dĺžka zámary pri teste činila 4 m, pričom nivelačná lata bola postavená na nivelačnej podložke. Princíp testu spočíval v určení prevýšenia pri postavení laty na rôzne časti jej pätky. Lata bola postupne postavená na všetky charakteristické miesta jej pätky. Poradie postavenia laty bolo realizované pomocou schémy S, LP, LZ, PZ, PP, S, určenej z pohľadu osoby držiacej latu. Označenie S znamená postavenie na stred pätky, LP na jej ľavú prednú časť, LZ ľavú zadnú, PZ pravú zadnú a PP pravú prednú časť pätky. Za účelom dosiahnutia kvalitnejších výsledkov, bolo celé meranie opakované 5 krát. Cieľom testu je stanovenie vertikálnych odchýliek jednotlivých častí pätky od jej stredu so stanovením charakteristík presnosti zistených odchýliek. Prvým bodom spracovania testu bolo určenie aritmetického priemeru prevýšenia meraného na stred pätky s jeho smerodatnou odchýlkou. Ten istý postup bol realizovaný aj pri výpočte prevýšenia a smerodatnej odchýlky na ostatné miesta pätky. Výsledné hodnoty odchýliek boli vypočítané ako rozdiel výsledného prevýšenia meraného na stred a na jednotlivé časti pätky, pričom bola ako základná charakteristika presnosti stanovená smerodatná odchýlka zistených odchýliek.

Pri výpočte boli použité tieto vzorce:

Aritmetický priemer:

$$(6.1) \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Výberová smerodatná odchýlka 1 merania:

$$(6.2) \quad \sigma_{0,X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}$$

Smerodatná odchýlka aritmetického priemeru:

$$(6.3) \quad \sigma_x = \frac{m_{0X}}{\sqrt{n}}$$

$x_i \dots$ meraná hodnota
 $v_i \dots$ oprava meranej hodnoty
 $n \dots$ počet opakovaní

Prehľad výsledku testu:

namerané hodnoty odchýliek - mm:

PZ	0,00	0,00	-0,05	LZ
PP	0,05		-0,02	LP

Smerodatná odchýlka zistených hodnôt činí **0,01 mm** s pravdepodobnosťou $P = 0,68$.

6.2 Testovanie vodorovnosti zámernej priamky použitého nivelačného prístroja

Keďže princíp nivelácie je postavený na vodorovnej zámere nivelačného prístroja a odčítaní hodnoty prevýšenia na late, nevodorovnosť zámernej priamky nivelačného prístroja priamo ovplyvňuje správnosť nameraných údajov. Z tohto dôvodu sa je tomuto testu prikladaná najväčšia dôležitosť. Chyba nevodorovnosti zámernej priamky má systematický charakter a jej vplyv možno eliminovať zavedením korekcie získanej ako výsledok tohto testu. Ak je dodržaná podmienka rovnako dlhých zámer, vplyv chyby sa automaticky vylúči. Ak túto podmienku nie je možné dodržať, je nutné zavedenie korekcie, ktorá sa zavádza na rozdiel dĺžok zámer nivelačnej zostavy. Test je nutné vykonať ako pred začatím, tak aj po ukončení merania úlohy, čím zaistíme správnosť nameraných údajov a zavedených korekcií počas celej doby merania úlohy. Podobne tak bolo aj pri meraní tejto diplomovej práce.

Pre zaistenie maximálnej presnosti bola prevedená kalibrácia použitého nivelačného prístroja Leica DNA 03, ktorá zahŕňa prevedenie tohto testu v 10 opakovaníach a tým stanovenie hodnoty korekcie z nevodorovnosti zámernej priamky z rozsiahleho súboru meraných dát.

Výsledkom testu bola hodnota sklonu zámernej priamky na jeden meter, ktorá činí **-0,008 mm/m** s rozšírenou neistotou **0,004 mm/m** ($P = 0,95$ $\alpha = 5\%$).

6.3 Stanovenie závislosti presnosti meraného prevýšenia na dĺžke nivelačnej zostavy prístrojom Leica DNA 03

Účelom tohto testu bolo zistenie miery vzrastania smerodatnej odchýlky meraného prevýšenia v závislosti od dĺžky zámer jednej nivelačnej zostavy. Cieľom bolo overenie presnosti prístroja, ktorá je charakterizovaná hodnotou smerodatnej odchýlky prevýšenia jednej nivelačnej zostavy deklarovanej výrobcom a zistenie reálneho rozloženia tejto hodnoty pre konkrétne dĺžky zostáv. U použitého nivelačného prístroja táto hodnota činí $m_h = 0,05$ mm. Pre vzrastajúcu dĺžku zostavy očakávame postupný nárast tejto hodnoty. Postup testu spočíval v opakovanom meraní prevýšenia pre každú dĺžku zostavy. Počet opakovaní bol 10, čím sme dostali 10 prevýšení pre každú testovanú dĺžku. Dĺžky zámer činili 3, 5, 7,5, 10, 15, 20, 25 a 30 m z čoho vyplýva že pri centrickom postavení prístroja sú dĺžky zostáv rovné dvojnásobku týchto hodnôt. Spracovanie nameraných hodnôt pozostáva z výpočtu aritmetických priemerov prevýšení pre každú dĺžku zostavy, výpočtu opráv jednotlivých meraní a napokon výpočet výberovej smerodatnej odchýlky jedného meraného prevýšenia pre jednotlivé dĺžky zostáv.

Ukážka postupu výpočtu pre dĺžku zostavy 20 m (dĺžka zámeru 10 m):

namerané hodnoty (m):

číslo	vzad (m)	vpred (m)	prevýšenie	oprava
1	1,06904	1,32952	-0,26048 m	0,026 mm
2	1,06905	1,32949	-0,26044 m	-0,014 mm
3	1,06905	1,32949	-0,26044 m	-0,014 mm
4	1,06904	1,32946	-0,26042 m	-0,034 mm
5	1,06903	1,32949	-0,26046 m	0,006 mm
6	1,06903	1,32949	-0,26046 m	0,006 mm
7	1,06905	1,32948	-0,26043 m	-0,024 mm
8	1,06904	1,32950	-0,26046 m	0,006 mm
9	1,06905	1,32949	-0,26044 m	-0,014 mm
10	1,06903	1,32954	-0,26051 m	0,056 mm

Tab. 1: Ukážka výpočtu testu

priemerná hodnota:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = -0,26045 \text{ m} \quad n = 10$$

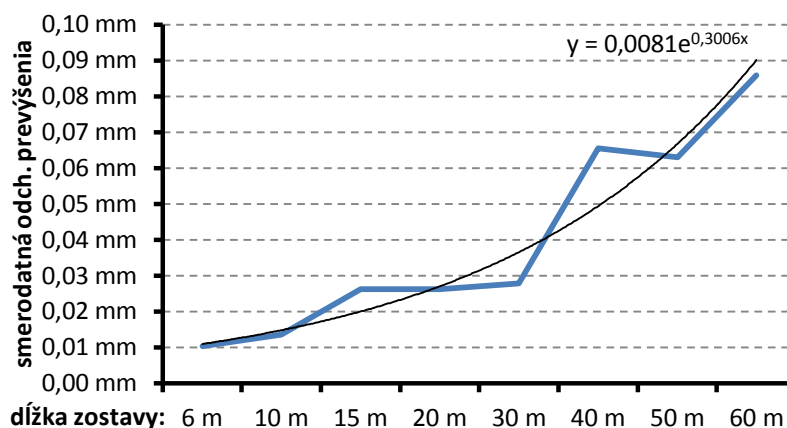
smerodatná odchýlka jedného merania:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = 0,026 \text{ mm}$$

Výsledné hodnoty zistených smerodatných odchýliek na všetky dĺžky zostáv a graf závislosti smerodatnej odchýlky prevýšenia na dĺžke zostavy:

dĺžka zost.	smer. odch.
6 m	0,010 mm
10 m	0,014 mm
15 m	0,026 mm
20 m	0,026 mm
30 m	0,028 mm
40 m	0,066 mm
50 m	0,063 mm
60 m	0,086 mm

Tab. 2: Výsledok testu



Graf 1: Závislosť presnosti meraného prevýšenia od dĺžky zostavy

Nakoľko dĺžka zostavy pri meraní posunov mostného objektu nepresiahla 35 m, možno usúdiť že prístroj plne vyhovuje požadovanej presnosti a zároveň výsledky testu presnosti prístroja korešpondujú s presnosťou udávanou výrobcom.

6.4 Stanovenie súčtovej konštanty odrazného terča

Účelom tohto testu je stanovenie hodnoty systematickej chyby meranej vzdialenosti, k vzniku ktorej dochádza použitím odrazného terča namiesto odrazného hranolu. Výsledkom testu je hodnota rozdielu vzdialenosti meranej na hranol a odrazný terč a taktiež konštatovanie, či je možné použitie daného odrazného terča na meranie vzdialenosti z hľadiska presnosti. Použitým etalónom bol odrazný hranol Nikon so súčtovou konštantou -14,7 mm. Testovaný typ odrazného terča Sokkia RS30N bol použitý pri zameraní mostnej konštrukcie. Test bol prevedený v súlade s medzinárodnou normou ČSN ISO 8322-10. Postup testu: bola zvolená základňa dĺžky podobnej ako merané dĺžky na mostnej konštrukcii. Na body boli postavené dva statívy, pričom na jednom bol prístroj, na druhom trojnožka s odrazným hranolom. Na meranie bol použitý prístroj Topcon GTS 300. Celkovo bolo prevedených 10 meraní na hranol a 10 meraní na odrazný terč, pričom po každom meraní došlo k výmene hranola a terča. Rozdiel medzi priemernou dĺžkou z merania na hranol a z merania na odrazný terč predstavuje súčtovú konštantu terča platnú pre konkrétnu vzdialenosť. Ďalej sa rozdielom aritmetického priemeru vzdialeností a jednotlivých meraní vypočítajú ich opravy, pomocou ktorých sa vypočítajú výberové smerodatné odchýlky vzdialeností meraných na hranol a odrazný terč. Porovnaním ich hodnôt v pomere $s_2 < 2s_1$ sa určí vhodnosť použitia odrazného terča pre danú úlohu. Súčtová konštantá odrazného terča má charakter opravy dĺžky meranej na odrazný terč. [18]

Zistená hodnota súčtovej konštanty odrazného terča je **+2,7 mm** s rozšírenou neistotou **0,4 mm** ($P=0,95$).

7. MERAČSKÉ PRÁCE

Meračské práce pre zameranie etapy číslo 7 boli uskutočnené v dňoch 22. a 23.8. 2012, kedy bolo prevedené okrem zamerania jednotlivých posunov a deformácií objektu aj kontrolné zameranie vzťažnej sústavy. Takisto boli prevedené kalibračné merania za účelom testovania presnosti použitého nivelačného prístroja a príslušných pomôcok. Kalibračné merania pre overenie parametrov použitej totálnej stanice boli realizované dňa 24.4.2013 v priestoroch budovy B stavebnej fakulty VUT v Brne. Podkladom pre stanovenie jednotlivých meračských postupov a výber vhodného prístrojového vybavenia je rozbor presnosti pred meraním. Z technologického hľadiska možno meračské práce rozdeliť na dve časti v závislosti od použitej metódy a časti konštrukcie pre ktorú bola metóda použitá.

7.1 Zameranie posunov a deformácií spodnej stavby objektu

Pre zameranie posunov spodnej stavby mostného objektu bola použitá metóda veľmi presnej geometrickej nivelácie zo stredu. Zvolenie použitia tejto metódy bolo podnietené faktom, že táto metóda poskytuje výsledky s dostatočne vysokou presnosťou pre interpretáciu posunov o veľkosti v desatinách mm. Pre dosiahnutie týchto výsledkov bolo potrebné neustále prihliadať na dodržovanie správneho technologického postupu metódy. Pre meranie bol použitý elektronický nivelačný prístroj Leica DNA 03 s výrobným číslom 331580 a kódová invarová nivelačná lata dĺžky 2 m typu Leica GWCL182 s výrobným číslom 0021. Meranie posunov spodnej stavby bolo uskutočnené 22.8. 2012 v čase od 9:30 do 14:30. Počas celej doby merania boli pomocou registračného teplomeru (výrobné číslo 04910262) zaznamenávané



Obr. 12: Nivelačný prístroj Leica DNA 03

hodnoty tlaku, vlhkosti a teploty, pričom priemerná hodnota tlaku dosahovala 985 hPa, vlhkosť vzduchu činila 55% a teplota sa pohybovala v rozmedzí od 23 do 33 °C. V nasledujúcej tabuľke č. 3 je uvedený stav počasia počas merania:

Čas (SELČ)	9:30-12:00	12:00-13:30	13:30-14:30
Stav počasia	jasno	polojasno	zamračené, dážď
teplota (°C)	29	29	26
tlak (hPa)	985	985	984
vlhkosť (%)	51	48	75

Tab. 3: Poveternostné podmienky počas merania

Za účelom eliminácie vplyvu počasia bola pred zahájením merania prevedená dôkladná temperácia prístroja a pomôcok. Počas merania bol použitím slnečníka prístroj chránený pred priamym slnečným žiarením.

Vlastné meranie bolo realizované štandardným postupom geometrickej nivelácie zo stredu, pričom pre merané prevýšenia medzi susednými nivelačnými značkami postačovala jedna nivelačná zostava. Ako pred začatím tak aj po ukončení merania bol vykonaný test vodorovnosti zámernej priamky nivelačného prístroja. Jednotlivé prevýšenia boli merané v nadbytočnom počte tam i späť, čím vznikla previazaná sieť, čo umožňuje spoľahlivú kontrolu a odhalenie možných chýb meraných dát. Pre vzdialené body bola ako prestavový bod použitá nivelačná podložka.



Obr. 13, 14: Meračské práce

Pre zaistenie stability nivelačnej laty na bodoch umiestnených na podperách mostu bola lata stabilizovaná opretím o podperu, na ostatných bodoch boli použité oporné tyče. Mechanické poškodenie nebolo zistené u žiadneho zo sledovaných bodov. Na každej podpere sú umiestnené 4 nivelačné značky. Výnimku tvorí podpera číslo 4, kde sa nachádza 5 značiek z dôvodu porušenia a prestabilizovania bodu číslo 4404. Body sú číslované systematicky, pričom každý bod má štvormiestne číslo. Prvé číslo určuje umiestnenie bodu na spodnej stavbe mostu (4), druhé označuje číslo podpery v smere staničenia a zvyšné dve čísla poradie bodu v rámci podpery. Toto poradie začína číslom 1 na najbližšom bode k začiatku mostu a vzrastá v smere hodinových ručičiek (viď schéma v kapitole 3.4).

Záznam meraných dát bol uskutočnený ich registráciou do pamäti nivelačného prístroja, v režime „*meansure only (rec)*.“ Registrované veličiny sú poradové číslo záznamu, číslo bodu, vzdialenosť laty, odčítaná hodnota, počet opakovaní odčítania hodnoty a jej presnosť. Počet opakovaných odčítaní hodnoty prevýšenia z nivelačnej laty bol nastavený na 3x pri každom meraní. Hodnota meraného prevýšenia je z laty odčítaná na stotiny milimetrov. Záznam meraných dát je ukladaný vo formáte Leica GSI.

Ukážka záznamu meraných dát použitého nivelačného prístroja vo formáte GSI: [16]

```

110238+00004403 32...8+01605855 330.08+00086583 390...+00000003 391.08+00000002
110239+00008011 32...8+00630291 330.08+00128393 390...+00000003 391.08+00000002
110240+00004502 32...8+01346820 330.08+00095108 390...+00000003 391.08+00000003
110241+00008014 32...8+01058906 330.08+00109227 390...+00000003 391.08+00000002
110242+00004403 32...8+01605415 330.08+00086584 390...+00000003 391.08+00000002

```

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
 číslo bodu vzdialenosť odčítaná hodnota počet opakovaných odčítaní
 poradové číslo

Ako príklad sú uvedené hodnoty z prvého riadku uvedeného záznamu:

poradové číslo: 110238
 číslo bodu: 4403
 vzdialenosť: 16,06 m
 odčítaná hodnota: 0,86583 m
 počet opakovaných odčítaní: 3
 odchýlka: 0,02 mm

7.2 Zameranie posunov a deformácií nosnej konštrukcie mostu

Z dôvodu neprístupnosti bodov nosnej konštrukcie mostu bolo nutné pre ich zameranie použiť bezkontaktnú metódu. Najvhodnejšou metódou pre tento účel je metóda presnej trigonometrie, ktorá bola aj použitá. Pre meranie bola použitá elektronická totálna stanica Topcon GTS 300 s výrobným číslom NV0180 a meračské značky typu svetelný bod umiestnené na mostnej konštrukcii. Predmetom zamerania boli mostné polia číslo 2 a 3. Meranie bolo prevedené dňa 23.8.2012 od 9:15 do 11:30. Počas merania boli zaznamenávané meteorologické údaje. Prehľad stavu počas a v priebehu merania je uvedený v nasledujúcej tabuľke:

Doba merania	Stav počasia	teplota (°C)	tlak (hPa)	vlhkosť (%)
23.8. 9:15-10:15	zamračené	21	986	71
23.8. 10:15-11:30	polojasno	26	986	62

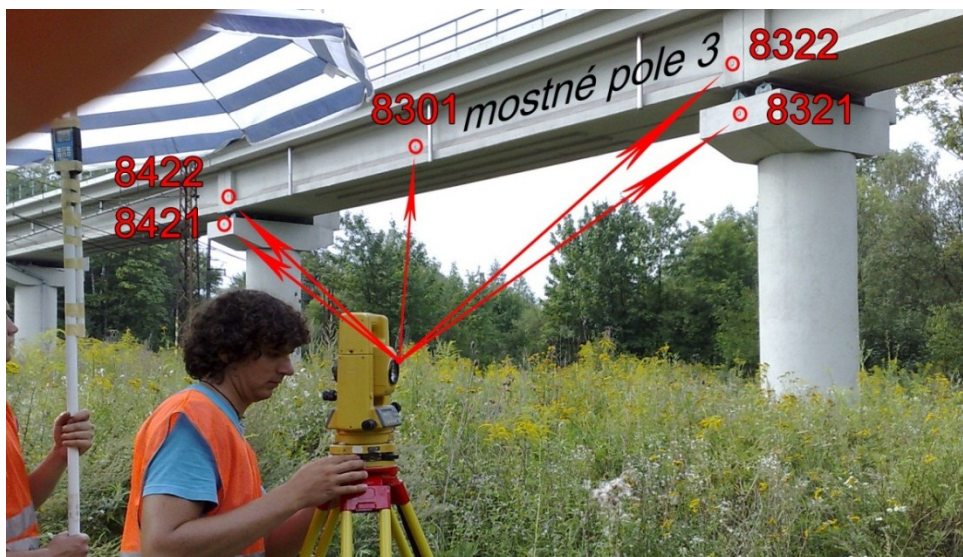
Tab. 4: Poveternostné podmienky počas merania

Za účelom eliminácie vplyvu poveternostných podmienok bol prístroj chránený slnečníkom počas celej doby merania.

Zameranie bolo prevedené metódou osnovy smerov v skupinách s využitím voľného stanoviska. Pripojenie merania bolo relatívne na dva body umiestnené na mostovke.

Merané bolo v oboch polohách d'alekohľadu. Jednu skupinu tvoria dve meračské rady. Prvá rada sa meria v prvej polohe d'alekohľadu. Ciele sa od počiatočného smeru postupne do všetkých ďalších smerov a končí sa opätovným

zacielením do počiatočného smeru. Hodnotu uzáveru je nutné kontrolovať a čiastočne nám vypovedá o presnosti prevedeného merania. Potom sa ďalekohľad preloží do druhej polohy (otočí sa okolo vodorovnej osi o 200 gon) a v druhej rade sa cieľi na jednotlivé smery v opačnom poradí. [17] Pre zaistenie maximálnej presnosti a eliminácie možných prístrojových chýb bol kladený dôraz aj na konštantný smer definitívneho zacielenia na značku pri použití jemných ustanoviek.



Obr. 15: Merané body na nosnej konštrukcii

Body sú číslované štvormiestnymi číslami, z ktorých je systematicky zrejmé umiestnenie jednotlivých bodov na konštrukcii.

Pred meraním bola do prístroja zadaná aktuálna hodnota teploty a tlaku. Pre meranie dĺžky bol nastavený jemný mód, ktorý umožňuje odčítanie dĺžky v rádoch desiatín mm. Uhlovou jednotkou sú grády. Na meranie bol použitý režim „zber dát“. Merané dáta boli zaznamenávané do pamäti totálnej stanice. Registrované údaje boli číslo bodu, šikmá dĺžka, výška cieľa, horizontálny smer a zenitový uhol, pričom výška cieľa činila 0,00 m. Dáta boli zaznamenané vo formáte Mapa2, ktorý možno charakterizovať dobrou prehľadnosťou. Zápisník merania obsahuje hlavičku, kde sú definované typy meraných veličín a ďalej samotné merané dáta.

Ukážka záznamu z merania vo formáte Mapa2:

```
9999
999999999
100001
1
3
0
2
```

... hlavička

```
č. stan.  výška stan.
1 9003   0.000
č. bodu  dĺžka   výška cieľa  horiz. smer  zenitový uhol
7341    23.4854  0.000    25.8662    82.8417
```

... merané dáta:

... údaje o stanovisku

... namerané údaje

7342	24.5240	0.000	25.3476	79.8130
7301	20.2238	0.000	69.6121	73.9681
7442	25.1408	0.000	112.9487	79.2436
7441	24.0262	0.000	112.7478	82.2900
7341	23.4852	0.000	25.8653	82.8403
7341	23.4852	0.000	225.8640	317.1559
7441	24.0268	0.000	312.7453	317.7083
7442	25.1404	0.000	312.9465	320.7542
7301	20.2252	0.000	269.6105	326.0296
7342	24.5266	0.000	225.3456	320.1837
7341	23.4850	0.000	225.8637	317.1562

-1

... koniec orientácie

/

-2

... koniec zápisníku

7.3 Zameranie predošlých etáp

Zameranie predošlých etáp 5, 6 bolo uskutočnené v rokoch 2010 a 2011. Pri meraní boli použité identické prístroje a pomôcky, pričom samotné zameranie bolo realizované za použitia tých istých metód a postupov ako pri etape 7 v roku 2012. Dôkazom toho je aj podobná dosiahnutá presnosť merania charakterizovaná smerodatnou odchýlkou vyrovnanej výšky bodu, ktorej hodnoty su uvedené v nasledujúcej kapitole o spracovaní nameraných dát. Hlavným faktorom ovplyvňujúcim možnú zmenu presnosti meraných veličín sú rôzne poveternostné podmienky počas merania jednotlivých etáp.

V nasledujúcej tabuľke č. 5 je uvedený prehľad informácií o meraniach v jednotlivých etapách:

etapa	5	6	7
dátum	26.8.2010	7.9.2011	22.8.2012
poveternosť	polojasno	zatiahnuté	polooblačno
teplota (°C)	14-25	15-21	23-33
tlak (hPa)	985-981	981	983-986
vlhkosť (%)	45-80	47-80	39-93

Tab. 5: Porovnanie meraní jednotlivých etáp

8. SPRACOVANIE NAMERANÝCH DÁT

Prvým krokom pri práci s nameranými dátami je ich export z meracích prístrojov. V prípade nivelačného prístroja Leica DNA 03 ide o prekopírovanie dát vo formáte GSI z pamäťovej karty prístroja do počítača. U totálnej stanice je nutné prístroj pripojiť k počítaču cez komunikačný port a previesť import meraných dát prostredníctvom softwaru Geoman. Pri prenose dát neboli nastavené žiadne korekcie. Dáta sú po importe uložené vo formáte Mapa2. Takisto ako merané dáta bolo nevyhnutné spracovanie aj dát prebratých z predošlých meraní etáp 5 a 6 v rokoch 2010 a 2011. Nakoľko dáta boli dodané v surovom stave- importované zápisníky z prístrojov, podliehal im identický spôsob spracovania.

8.1 Spracovanie nameraných dát- nivelácia

Importované dáta boli pomocou textového editora umožňujúceho stĺpcovú selekciu údajov prekopírované do softwaru MS Office Excel 2010, kde prebehla ich dôkladná kontrola. Po drobných opravách chýb číslovania bodov vzniknutých počas merania a odstránení chybných riadkov bola vypočítaná a zavedená korekcia z nevodorovnosti zámernej priamky nivelačného prístroja.

8.1.1 Kontrola nameraných dát

Pred akoukoľvek manipuláciou s meranými dátami je nevyhnutné previesť ich kontrolu, aby jednak sa zabezpečilo odhalenie vzniknutých chýb pri meraní a taktiež sa otestovalo či bolo prevedené s dostatočnou presnosťou. Kontrola nameraných prevýšení bola uskutočnená výpočtom vybraných uzáverov v sieti a porovnaním ich hodnoty s hodnotou rozšírenej neistoty. Ich hodnota by mala byť blízka k nule. Ak je meranie prevedené s dostatočnou presnosťou musí byť hodnota uzáveru menšia alebo rovná hodnote rozšírenej neistoty. Výpočet uzáverov spočíva v súčte prevýšení medzi bodmi vybraného uzavretého nivelačného ťahu v sieti.

Výpočet smerodatnej odchýlky uzáveru: [6]

$$(8.1) \quad \sigma_U \leq \sigma_0 \sqrt{R_{km}} = \sigma_{hi} \sqrt{n}$$

$\sigma_0...$ stredná kilometrová chyba

$R_{km}...$ vzdialenosť v km

$n...$ počet zostáv

$\sigma_{hi}...$ smerodatná odchýlka jednej zostavy
($\sigma_{hi} = 0,05 \text{ mm}$)

Rozšírená neistota uzáveru:

$$(8.2) \quad \delta_U = \sigma_U \cdot t$$

$\delta_U...$ rozšírená neistota uzáveru

$\sigma_U...$ koeficient konfidencie, $t=2$

Hodnoty vypočítaných uzáverov sa pohybovali v rozmedzí 0,01 až 0,13 mm.

Žiaden s uzáverov neprekročil hodnotu rozšírenej neistoty, z čoho možno usúdiť, že meranie bolo prevedené s dostatočnou presnosťou.

8.1.2 Editácia formátu meraných dát

Po týchto úpravách boli dáta prekopírované do textového súboru. V ďalšom kroku bolo nutné dáta previesť do externého formátu súboru veličín, ktorý umožňuje import do softwaru GNET, kde bolo prevedené vyrovnanie. Tento formát má presne dané poradie a pozície jednotlivých veličín v textovom súbore tak, aby boli softwarom GNET presne rozpoznané. Špecifikáciu tohto formátu nájdeme v užívateľskej príručke softwaru a je uvedená aj v nasledujúcej tabuľke č. 7: [14]

Typ veličiny	Od pozície	Do
Položka	1	8
ČB 1	9	18
ČB 2	19	28
ČB 3	29	38
Hodnota	39	48
AprStrCh	49	50
Vzorce	57	72

Tab. 6: Externý formát súboru veličín programu GNET

Ukážka dát prevedených do externého formátu pre GNET:

typ	ČB 1	ČB 2	meraná hodnota	presnosť
DZ	8005	V10	0.98369	0.00005
DZ	4201	V10	1.15672	0.00005
DZ	4201	V11	1.15672	0.00005
DZ	8005	V11	0.98369	0.00005
DZ	8005	V12	0.94166	0.00005
DZ	8006	V12	0.90635	0.00005

Na prevod meraných dát do tohto požadovaného formátu bol použitý program TestConv. Filozofia práce tohto programu je založená na jednoduchom jazyku RSP, ktorý je známy z geodetického výpočtoného systému ATLAS. Prevod medzi textovými súbormi sa prevádza podľa inštrukcií uložených v riadiacom súbore. Ide o jednoduché inštrukcie manipulujúce s dátami. Príprava riadiaceho súboru sa len vzdialene podobá programovaniu. Je oveľa jednoduchšia, je podporená celým radom pomôcok a vzorových riadiacich súborov. [13]

Ukážka použitého riadiaceho súboru s vysvetlivkami:

```
BEGIN          .... začiatok súboru
READ           .... načítanie riadku
```



```

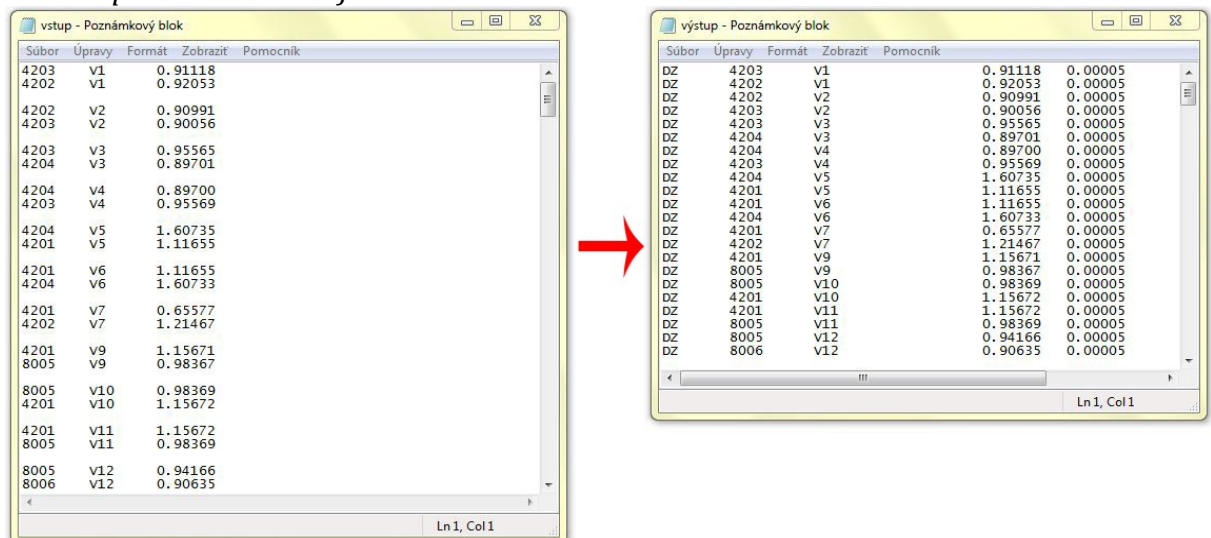
IF 1,1=$space$
RECORDSKIP=1
CONT
POST $DZ$-1
POS 1,5-9
POS 9,13-19
POS 17,24-39
POST $0.00005$-49
WRITE
RETURN
END
STOP

```

.... podmienka IF (preskočenie prázdných riadkov)
 splnenie podmienky- preskočiť riadok
 nesplnenie podmienky- pokračovať ďalej
 vložiť „DZ“ na pozíciu 1
 presunúť záznam na pozíciách 1-5 na pozíciu 9
 presunúť záznam na pozíciách 9-13 na pozíciu 19
 presunúť záznam na pozíciách 17-24 na poz. 39
 vložiť „0.0005“ na pozíciu 49
 zápis riadku do nového súboru
 opakovanie príkazov na novom riadku
 koniec súboru
 koniec programu

Obdobným spôsobom boli spracované aj merané dáta minulých etáp 5 a 6 (2010 a 2011), ktoré boli dodané od zadávateľa.

Ukážka pôvodného a už sformátovaného textového súboru:



Obr. 16: Súbor meraných dát pred konverziou a po nej

Takto prevedené dáta boli naimportované do geodetického výpočtového softwaru GNET. Pred importom boli prevedené potrebné nastavenia programu.



Obr. 17: Import dát do programu GNET

Ukážka naimportovaných dát:

G-NET/COMPLEX/082.09 VÝPOČTY GEODETICKÝCH SÍTÍ (C) SHINE, C.S. Brno						
Měřené veličiny [PRACOV 1 : 1]						
Veličina	ČB1	ČB2	ČB3	Hodnota	Chyba	Uzorec
DZ	4203	U1		1.03675	0.000050	
DZ	4204	U1		0.97801	0.000050	
DZ	4204	U2		0.97799	0.000050	
DZ	4203	U2		1.03676	0.000050	
DZ	4203	U3		0.99238	0.000050	
DZ	4202	U3		1.00163	0.000050	
DZ	4202	U4		1.00164	0.000050	
DZ	4203	U4		0.99237	0.000050	

Obr. 18: Dáta naimportované do programu GNET

8.1.3 Posúdenie stability vzťažnej sústavy a vyrovnanie nivelačných dát

Keďže dôležitým krokom pred vlastným vyrovnaním siete je nadefinovanie bodov vzťažnej sústavy a zadanie hodnôt ich výšok, bolo po naimportovaní meraných dát prevedené prvotné vyrovnanie siete. Výsledkom tohto vyrovnania sú vyrovnané výšky meraných bodov slúžiace k posúdeniu stability vzťažnej sústavy objektu. Táto analýza nám zaručí nájdenie bodov sústavy preukazujúcich najväčšiu dlhodobú stabilitu. Sústavu vzťažných bodov tvorí sústava štyroch mikropilót MP1- MP4 umiestnených v blízkosti objektu mimo jeho deformačnú zónu. Pretože v tomto momente ešte nevieme, ktorý z bodov je najstabilnejší bolo prvotné vyrovnanie fixované na ľubovoľný bod. Takto boli predbežne vyrovnané merané dáta všetkých etáp. Posúdenie stability vzťažných bodov spočívalo v porovnaní ich výškových rozdielov medzi jednotlivými etapami a posúdením vzhľadom k hodnote rozšírenej neistoty merania posunu. Túto hodnotu vypočítame ako súčin koeficientu konfidencie a odmocniny zo súčtu kvadrátov stredných chýb vyrovnaných výšok bodu. Použitá hodnota koeficientu konfidencie je $t=2$, čo predstavuje mieru istoty s pravdepodobnosťou $P=0,95$. Ak zistená hodnota posunu je menšia ako hodnota rozšírenej neistoty posun bodu nie je preukázaný a považujeme ho za stabilný.

Z dôvodu vykazovania najmenších hodnôt vertikálnych posunov daného bodu za obdobie dvoch rokov bol tento bod zvolený ako východzí vzťažný bod pre výpočet posunov sledovaného objektu. Keďže predbežné vyrovnanie meraných dát bolo prevedené s fixáciou na tento bod, pričom bola zadaná aj jeho výška, môžeme toto vyrovnanie považovať za definitívne. Vyrovnanie bolo vypočítané ako vyrovnanie sprostredkujúcich meraní metódou najmenších štvorcov, ktorej hlavnou pomienkou je minimálna hodnota súčtu kvadrátov všetkých opráv hodnôt meraných veličín. **Výšky bodov sú vypočítané vo zvolenom miestnom výškovom systéme.**

Výsledné hodnoty výšok a charakteristík presnosti pochádzajúce z vyrovnaní sú obsahom protokolu o výškovom vyrovnaní siete. Tento protokol je automaticky generovaný programom GNET a jeho obsahom sú jak priebežné hodnoty výpočtu vyrovnaní, tak i výsledné hodnoty. Protokol má význam aj pre kontrolu meraných údajov vstupujúcich do vyrovnaní a odhalenie prípadných chýb.

Ukážka výpočetného protokolu (etapa 7):

Rozbor vyrovnaní výskove site

```
-----
Pocet prevyseni pouzitych ve vyrovani: ..... 234
Pocet nadbytecných velicin: ..... 86
Jednotkova stredni chyba aposteriori: ..... 0.9846
Kriticka hodnota chi-kvadrat pro test 1: ..... 1.1240
Pravdepodobnost, ze na zaklade testu 1 bude
presnost oznacena za nedodrzenou neopravnene: ..... 5.0 %
Pocet podminek pro regularizaci: ..... 0
Pocet radku matice linearniho modelu: ..... 234
Pocet sloupctu matice linearniho modelu: ..... 148
Defekt matice: ..... 0
Vypoctena hodnota poctu nadbytecných velicin: ..... 86.00001
Odhad jedn. str. ch. pri vylouceni podezreleho mereni: ..... 0.9575
Index nejpodzrelejsiho mereni: ..... 161
Pouzita standardni odchylka sigma ..... 0.9846
Na zaklade statistickeho testu 1 nelze presnost mereni prohlasis
za nedodrzenou (na hladine vyznamnosti 5.0 %).
```

Informace o vyrovnaní převýšení

```
-----
      CB1      CB2  hodnota  AprStr      L      Vnorm      Oprava      Apost
Vyrovnaná  FC
1  4203  V1  0.91118  0.050  125   -0.872  -0.03   0.039  0.91115  0.204
2  4202  V1  0.92053  0.050  125    0.872   0.03   0.039  0.92056  0.204
3  4202  V2  0.90991  0.050  136    0.872   0.03   0.039  0.90994  0.204
4  4203  V2  0.90056  0.050  136   -0.872  -0.03   0.039  0.90053  0.204
5  4203  V3  0.95565  0.050  36.730  0.788   0.02   0.039  0.95567  0.208
6  4204  V3  0.89701  0.050  36.630 -0.788  -0.02   0.039  0.89699  0.208
7  4204  V4  0.89700  0.050  36.650  0.045   0.00   0.039  0.89700  0.208
8  4203  V4  0.95569  0.050  36.700 -0.045  -0.00   0.039  0.95569  0.208
9  4204  V5  1.60735  0.050  -408   0.088   0.00   0.040  1.60735  0.185
10 4201  V5  1.11655  0.050  -408  -0.088  -0.00   0.040  1.11655  0.185
11 4201  V6  1.11655  0.050  -408  -0.438  -0.01   0.040  1.11654  0.185
12 4204  V6  1.60733  0.050  -408   0.438   0.01   0.040  1.60734  0.185
13 4201  V7  0.65577  0.050  462   0.109   0.00   0.042  0.65577  0.151
14 4202  V7  1.21467  0.050  462  -0.109  -0.00   0.042  1.21467  0.151
15 4201  V9  1.15671  0.050  -116   0.024   0.00   0.039  1.15671  0.202
16 8005  V9  0.98367  0.050  -115  -0.024  -0.00   0.039  0.98367  0.202
17 8005 V10  0.98369  0.050  -115  -0.193  -0.01   0.039  0.98368  0.202
```

```
.....
CB1, CB2 ..cisla bodu, mezi nimiz bylo mereno prevyseni (z CB1 na CB2).
hodnota ...hodnota mereneho prevyseni (jednotky jsou [m]).
AprStr ....velikost apriorni stredni chyby zadane v modelu site [mm]
! .....vyskytujici se u prevyseni oznacuje nejpodzrelejsi prevyseni.
> .....vyskytujici se u prevyseni oznacuje opravy vybocuujici z testu 3.
Kriticka hodnota testu 3 cini 1.96, a to pri hladine vyznamnosti 5.0 %.
L ..... velikost odchylky mezi hodnotou merenou a odvozenou z vysek [mm]
VNorm ..normalizovana oprava (slouzi k testovani odlehlých hodnot, je bez
rozmeru
Oprava ....oprava [mm]
Apost ...velikost stredni chyby vyrovnane veliciny [mm].
Vyrovnaná..vyrovnaná hodnota veliciny.
FC .....faktor prinosu veliciny pro vyrovnani (bez rozmeru).
FC = 1.0 - nepotrebná, 0.25 - normalni potreba, 0.0 - nezbytna velicina
bez kontroly
```

Vyrovnané výšky bodu

CB	Z [m]	MZ
4201	100.26490 -0.00096	0.050
4202	99.70601 -0.00098	0.044
4203	99.71541 -0.00083	0.031
4204	99.77410 -0.00088	0.043
4301	99.78622 -0.00051	0.031
4302	99.81604 -0.00064	0.039
CB Cislo bodu		
Z Vyrovnaná výška Z [m]		
MZ Stredná chyba ve výšce Z [mm]		

8.2 Spracovanie nameraných dát- trigonometria

8.2.1 Zadefinovanie súradnicového systému

Údaje namerané metódou presnej trigonometrie slúžia k určaniu posunov horizontálnych i vertikálnych. Z tohoto dôvodu bolo potrebné vykonať výpočet a vyrovnanie polohových i výškových súradníc sledovaných bodov. Definitívne súradnice bodov boli vypočítané v pravotočivom miestnom súradnicovom systéme, ktorý bol orientovaný s ohľadom na smer sledovaných posunov konštrukcie.

Pretože meranie na všetkých stanoviskách bolo prevedené nezávisle pre každú stranu daného mostného poľa, vznikli pre každé pole 2 nezávislé súradnicové systémy (t.j. celkovo 4). Hodnoty súradníc východzieho bodu polohy boli zvolené na $Y = 500$, $X = 1000$ a hodnota výšky východzieho výškového bodu na $Z = 100$. Jednotkami súradníc sú metre.

8.2.2 Výpočet a vyrovnanie meraných dát

Keďže meranie bolo realizované trigonometrickou metódou voľného stanoviska je pre prevedenie výpočtu súradníc meraných bodov vo zvolenom súradnicovom systéme nevyhnutný výpočet vzdialenosti medzi bodmi na podperách mostu. Táto vzdialenosť nám umožní vypočítať neznámu hodnotu súradnice X . Z tohto dôvodu je možné výpočet rozdeliť do dvoch krokov.

1. Výpočet vzdialenosti medzi bodmi na podperách mostu:

Pomocou polárnej metódy vypočítané súradnice meraných bodov. Výsledná vzdialenosť bola vypočítaná z rozdielu súradníc bodov. Súradnice stanoviska boli zvolené na $Y = 500$, $X = 1000$. Orientačným bodom bol zvolený bod na konštrukcii.

Súradnice tohto bodu boli $Y=500, X=1000 + S_{\text{stan-ori}}$, kde $S_{\text{stan-ori}}$ predstavuje vodorovnú vzdialenosť stanoviska a orientačného bodu.

Výpočet smerníku na určovaný bod:

$$(8.3) \quad \sigma_i = \arctg \frac{Y_{\text{ori}} - Y_{\text{s tan}}}{X_{\text{ori}} - X_{\text{s tan}}} \quad \begin{array}{l} \sigma_i \dots \text{smerník} \\ Y, X \dots \text{súradnice bodov} \end{array}$$

Výpočet súradníc určovaného bodu- polárna metóda:

$$(8.4) \quad \begin{array}{l} Y_i = Y_{\text{s tan}} + S_{\text{s tan-ori}} \cdot \sin \sigma_i \\ X_i = X_{\text{s tan}} + S_{\text{s tan-ori}} \cdot \cos \sigma_i \end{array} \quad \begin{array}{l} S_{\text{s tan-ori}} \dots \text{vzdialenosť stanovisko- orientácia} \\ Y, X \dots \text{súradnice bodov} \end{array}$$

Výpočet vzdialenosti bodov zo súradníc:

$$(8.5) \quad s_i = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad \begin{array}{l} s_i \dots \text{vzdialenosť bodov} \\ \Delta Y, \Delta X \dots \text{rozdiely súradníc bodov} \end{array}$$

[19]

Výpočet súradníc bodov bol realizovaný pomocou software GNET. Ďalej boli z týchto súradníc v programe MS Excel vypočítané potrebné dĺžky a následne súradnice.

2. Výpočet a vyrovnanie súradníc sledovaných bodov:

Výpočet bol realizovaný v programe GNET, kde boli po naimportovaní zápisníku merania zadane súradnice a výška východných bodov. Po zadání všetkých týchto vstupných dát potrebných k výpočtu mohol byť prevedený predbežný výpočet súradníc a výšok bodov. Súradnice a výšky boli vypočítané použitím funkcie *výpočet PBPP* nachádzajúcej sa v menu *vlastnosti* (tlačidlo F10) v režime editácie zápisníku. Výsledky výpočtu sú uložené a zhrnuté v protokole, ktorý je vytváraný programom automaticky.

G-NET/COMPLEX/U02.09 VÝPOČTY GEODETICKÝCH SÍTÍ (C) SHINE, C.S. Brno									
Zápisník [.GNZ/GAGA 1 : 1]									
TypŘ	ČB	TypD	Délka	Horiz.	Vert.	US/UC	Pozn.		
Menu editoru									
Sta	Uložení řádku		<Shft-Ins>	NeDuplikovat řádky		<Alt-D>			
Ori	Smazání řádku		<Shft-Del>	Na jednom řádku		<Alt-L>			
Ori	Začátek bloku		<Ctrl-K-B>	Uložení souboru		<Alt-F2>			
Ori	Konec bloku		<Ctrl-K-K>	Otevření souboru		<Alt-F3>			
Ori	Zrušení označení bl.		<Ctrl-K-H>	Import z TXT		<Alt-I>			
Ori	Smazání bloku		<Ctrl-K-Y>	Export do TXT		<Alt-E>			
Ori	Kopírování bloku		<Ctrl-K-C>	Zápis - nové jméno		<Alt-S>			
Ori	Hledání řetězce		<F3>	Filtr		<Alt-F4>			
Ori	Protisměrné záměry		<F4>	Výpočet PBPP		<Alt-F5>			
Ori	Změna režimu		<F5>	Dávka podrobných b.		<Alt-F6>			
Ori	Třídění stanovisek		<F6>	Spojení stanovisek		<Alt-F7>			
Ori	Třídění řádků		<F7>	Protokol - prohl.		<Alt-F8>			
Ori	Tvorba protokolu		<F8>	Aktivní vlastnosti		<Alt-F9>			
Sta	Kontrola řádků		<F9>	Konec editací		<Ctrl-Enter>			
Řádek:1 Sloupec:1 Počet řádků:117 Editovat-F5 F9-Kontrola									
Skupinové číslo:100001 Stan:9001 Typ řádku:Stanovisko									
[] Úhly: Grad									
Výpočet PBPP - přibližné souřadnice a redukce veličin pro vyrovnaní. <Alt-F5>									
<Enter> Ujber položky, <Esc> Opuštění výběru									
<PgDn> <PgUp> <Home> <End> [šipky] k pohybu aktuálního pole obrazovky									

Obr. 19: Funkcia výpočet PBPP v programe GNET

Ukážka protokolu výpočtu merania na stanovisku 9001 etapy 7 (2012) -pravá strana 2. mostného poľa:

Protokol o zpracovaní zapisníku merení

Vypocet bodu bodoveho pole - prevod do velicin

Parametry zpracovani zapisniku:

Technologie: STANDARD Trida presnosti: 1 Typ delky 2
Uhlova jednotka: Grad
Vliv refrakce na delky: Ano Vliv nadm. vysky na delky: Ne
Vliv zobrazeni na delky: Ne Vliv refrakce na vysky: Ano
Pouzita databaze mat. vztahu STANDARD.GNP
Zobrazovaci metoda JTSK
Zvoleny elipsoid Bessel1841
Retezec definujici podminky A+G-EDZ
Zvoleny format seznamu souradnic G-NET
Zvoleny format zapisniku G-NET
Zapisnik: ZAP.GNZ
Seznam souradnic nacten ze souboru PRACOV.GNB

Dane body:

6241 6341

** Nactenych bodu ze seznamu souradnic: 2

** Zacatek cteni zapisniku

** Cteni zapisniku dokonceno

Urcene body:

Cislo bodu	Y	X	Z	MezP	MezZ
9001	511.2493	1015.3147	93.7046	0.0400	0.0100
6242	499.5430	999.5400	101.4298	0.0400	0.0100
6201	499.1956	1014.4325	101.5915	0.0400	0.0100
6342	499.5726	1029.3727	101.8821	0.0400	0.0100
6241	500.0000	1000.0000	99.8003		0.0100

Konec urceni bodu

Expedice velicin a souradnic

Keďže meranie bolo prevedené s nadbytočným počtom meraných veličín, je pre získanie konečných súradníc a výšok nutné previesť vyrovnanie. Prevedením vyrovnaní tak dostaneme okrem hodnôt výsledných súradníc a výšok aj ich charakteristiky presnosti, reprezentované smerodatnými odchýlkami vyrovnaných hodnôt. Vyrovnanie bolo prevedené taktiež v programe GNET. Výpočet prebehol metódou najmenších štvorcov (MNČ) ako vyrovnanie sprostredkujúcich meraní. Výškové a polohové vyrovnanie bolo prevedené samostatne. Pred vyrovnaním je nutné nastaviť, na ktoré súradnice východiskový bodov má byť vyrovnanie fixované. Pre elimináciu chýb spôsobených nepresnosťou východiskových bodov, tak bolo vyrovnanie polohovo zafixované na Y a X súradnicu východiskového bodu súradnicového systému a na Y súradnicu orientačného bodu. Výškovy bolo zafixované na východzí bod výšky. Celkový počet veličín vstupujúcich do polohového vyrovnaní bol 30 z čoho je 18 nadbytočných. U žiadneho z vyrovnaní nebola prekročená presnosť posudzovaná porovnaním jednotkovej aposteriórnej strednej chyby merania s jej kritickou hodnotou na hladine významnosti 5%. Protokol o vyrovnaní je vytváraný automaticky a má obdobnú formu aká je popísaná v predchádzajúcej podkapitole 8.1.3.

9. VÝPOČET A VYHODNOTENIE POSUNOV A DEFORMÁCIÍ KONŠTRUKCIE

Vyhodnotenie posunov a deformácií mostnej konštrukcie a ich následná interpretácia predstavuje hlavnú náplň tejto práce. Samotné vyhodnotenie posunov možno rozdeliť do dvoch častí v závislosti od metódy, pomocou ktorej boli zamerané. Obsahom prvej časti je výpočet a vyhodnotenie vertikálnych posunov a deformácií spodnej stavby mostu, ktorá bola zameraná metódou veľmi presnej nivelácie. Sledovanými zmenami geometrie spodnej stavby je sadanie podpier do podložia spolu s vyhodnotením ich náklonu v priečnom a pozdĺžnom smere. Druhá časť zahŕňa výpočet a vyhodnotenie posunov nosnej konštrukcie mostu (polí 2,3) zameraných metódou presnej trigonometrie. Predmetom tejto časti je vyhodnotenie horizontálneho pohybu mostných polí po valcových ložiskách, zmeny vzájomnej vzdialenosti mostných podper, vertikálne stlačenie ložisiek a priehyby mostných polí. Posuny sú vyhodnocované z meraní v etapách 5,6,7, pričom stav v etape 7 je posudzovaný jednak vzhľadom ku stavu konštrukcie v etape 5 a taktiež vzhľadom ku stavu v etape 6. Toto porovnanie nám umožňuje sledovať okrem absolútnych hodnôt posunov a deformácií aj určitý časový vývoj stability mostnej konštrukcie. Hodnoty posunov sú vypočítané ako rozdiel príslušných vyrovnaných hodnôt (výška, polohová súradnica) etapy aktuálnej a predošlej. Keďže prevažnú časť vyhodnocovaných posunov tvoria posuny vertikálne, uvediem postup výpočtu a vyhodnotenia vertikálnych posunov. V prípade posunu horizontálneho bol celý postup výpočtu prevedený analogicky, pričom namiesto rozdielu výšok bol vypočítaný rozdiel polohových súradníc X.

Výpočet posunu:

$$(9.1) \quad dH = H_i - H_0$$

dH- vertikálny posun
H_i- výška bodu v aktuálnej etape
H₀- výška bodu v predošlej etape

pozn.: záporné znamienko posunu znamená pokles

Smerodatná odchýlka posunu:

$$(9.2) \quad \sigma_{dH} = \sqrt{\sigma_{H_i}^2 + \sigma_{H_0}^2}$$

σ_{dH}... smerodatná odchýlka posunu
σ_{H_i}, *σ_{H₀}*... smerodatné odchýlky výšok

pozn.: smerodatná odchýlka zahŕňa hodnotu veličiny pravdepodobnosťou $P=0,68$

Rozšírená neistota posunu:

$$(9.3) \quad \delta_{dH} = t \cdot \sigma_{dH} \quad t=2$$

δ_{dH}... rozšírená neistota posunu
t... koeficient konfidencie

pozn.: rozšírená neistota zahŕňa hodnotu veličiny s pravdepodobnosťou $P=0,95$

Na to, aby boli posuny preukázané a bolo možné deklarovať ich existenciu sú posudzované vzhľadom k ich smerodatnej odchýlke a rozšírenej neistote. Výsledkom tejto analýzy je konštatovanie, či posun bol preukázaný, alebo nie. Posun nebol preukázaný vtedy, ak jeho hodnota je menšia ako jeho smerodajná odchýlka. Ak sa hodnota posunu nachádza v rozmedzí smerodatnej odchýlky a rozšírenej neistoty, značí to určitý predpoklad, že posun mohol aj nemusel nastať. Ak hodnota posunu presahuje, alebo je rovná rozšírenej neistote, znamená to, že posun bol preukázaný. Rozšírená neistota bola vypočítaná súčinom smerodatnej odchýlky a koeficientu konfidencie $t=2$ a zahŕňa hodnotu veličiny s pravdepodobnosťou $P=0,95$. Voľba hodnoty koeficientu konfidencie je závislá na možnosti eliminácie systematických vplyvov merania, ktorá bola v tomto prípade pomerne spoľahlivá.

9.1 Vyhodnotenie posunov a deformácií spodnej stavby mostu

Ako už bolo zmienené, zistenie posunov spodnej stavby spočíva vo vyhodnotení vertikálnych posunov z dát nameraných niveláciou. Keďže na každej podpere sú osadené štyri sledované body a to v smere pozdĺžnom a priečnom je možné vyhodnotiť okrem sadania celej podpery do podložia aj náklony v jednotlivých smeroch. Sadenie stredu podpery bolo vyhodnotené podľa výšky stredu podpery, ktorá bola vypočítaná ako aritmetický priemer z výšok bodov umiestnených na podpere.

Výpočet výšky stredu podpery:

$$(9.4) \quad H_s = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$$

H_s - výška stredu podpery
 H_{pi} - výška bodu na podpere
 n - počet značiek, $n=4$

Výpočet smerodatnej odchýlky výšky stredu podpery:

$$(9.5) \quad \sigma_{Hs} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{Hi}^2}{n}}$$

σ_{Hs} - smerodajná odchýlka výšky stredu podpery
 σ_{Hi} - smerodajná odchýlka výšky bodu
 n - počet značiek, $n=4$

Očakávané hodnoty posunov boli v rádoch desatinách milimetra až niekoľko milimetrov. Keďže máme k dispozícii viac ako dve etapy merania, je možné sledovať aj trend vývoja geometrických zmien konštrukcie za určité časové obdobie.

9.1.1 Výpočet posunov etapy 7 (2012) vzhľadom k etape 6 (2011)

Posudzovanými etapami v tejto časti sú etapy 7 a 6 (2011, 2012). Hodnoty posunov boli vypočítané ako rozdiel výšok bodov v jednotlivých etapách, pričom od výšky v etape 7 bola odčítaná výška v etape 6.

Grafické znázornenie posunov:

Účelom grafického znázornenia posunov je ich jednoduchá, prehľadná a zrozumiteľná interpretácia. Spôsob grafického znázornenia bol zvolený tak, aby bolo možné spoľahlivo interpretovať posuny vo všetkých význačných miestach a získať tak ucelenú charakteristiku zmeny geometrie mostnej koštruktie. Pre znázornenie vertikálnych posunov spodnej stavby mostu bolo zvolené zobrazenie v pôdoryse, v pozdĺžnom reze a v priečnom smere. Grafické znázornenie je doplnené číselnými hodnotami jednotlivých posunov.

9.1.2 Výpočet posunov etapy 7 (2012) vzhľadom k etape 5 (2010)

Posudzovanými etapami v tejto časti sú etapy 7 a 5 (2012, 2010). Hodnoty posunov vypočítané odčítaním výšky v etape 5 od výšky v etape 7.

Grafické znázornenie posunov:

Spôsob grafického znázornenia bol zvolený identicky ako pri porovnaní etáp 6 a 7 v predchádzajúcej časti 9.9.1.

9.1.3 Trend vývoja zmeny geometrie koštruktie

Pomocou posúdenia posunov a deformácií vo všetkých troch riešených etapách sme schopní analyzovať priebeh zmeny geometrie koštruktie za časové obdobie posledných dvoch rokov, t.j. od roku 2010 po rok 2012. Hlavným dôvodom tejto analýzy je zistenie, či sa vertikálne posuny jednotlivých sledovaných bodov zväčšujú, alebo zmenšujú. Toto zistenie je dôležité z hľadiska odhalenia určitých rizikových zón koštruktie, kde by mohlo v budúcnosti dôjsť k porušeniu, čím by bola ohrozená jej bezpečnosť. Vývoj vertikálnych posunov sledovaných bodov počas etáp 5, 6 a 7 je interpretovaný číselne i graficky. Číselné vyjadrenie predstavuje tabuľku s hodnotami posunov, obsahom grafického vyjadrenia sú grafy zmien výšok sledovaných bodov počas jednotlivých etáp.

9.1.4 Zhodnotenie zistených posunov

Prvým sledovaným faktorom bol posun stredov podpier. Ďalšími sledovanými faktormi boli náklony podpier v priečnom a pozdĺžnom smere. Posun nebol preukázaný u 12% sledovaných bodov. Hodnoty posunov sa pohybujú v rozmedzí 0 a 2 mm

9.2 Vyhodnotenie posunov a deformácií nosnej konštrukcie mostu

Predmetom vyhodnotenia posunov a deformácií nosnej konštrukcie mostu je výpočet ako vertikálnych, tak i horizontálnych posunov. Pre výpočet týchto posunov slúžia spracované dáta merané metódou trigonometrie. Vypočítané posuny sú relatívne, polohovo vzťahované k východiskovému bodu súradnicového systému a výškovo k bodu na podpere P3 z požadovanej strany. Sledovanými parametrami mostného zvršku je stlačenie ložísiok (pevných i pohyblivých) a priehyb stredu mostných polí u vertikálnej zložky posunov. U horizontálnej zložky posunov sledované parametre predstavuje dilatácia mostovky, jej pohyb po ložiskách a zmena vzájomnej vzdialenosti podpier mostu. Tieto parametre navzájom spolu súvisia a ovplyvňujú sa, pričom dilatácia mostovky vplyvom teplotných zmien spôsobuje jej pohyb po ložiskách. Dilatácia mostovky bola porovnaná s jej teoretickou hodnotou vypočítanou podľa rozdielu teplôt pri meraní jednotlivých etáp. Pre výpočet teoretickej hodnoty tepelnej rozťažnosti jedného mostného poľa bol použitý koeficient tepelnej rozťažnosti o hodnote $\alpha = 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ (alebo $^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Zmena dĺžky mostného poľa vplyvom teploty sa vypočíta podľa vzorca:

$$(9.6) \quad \Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$\Delta L...$	<i>zmena dĺžky</i>
$L_0...$	<i>pôvodná dĺžka</i>
$\Delta T...$	<i>zmena teploty</i>
$\alpha...$	<i>koeficient tepelnej rozťažnosti</i>

Teplotné rozdiely medzi meraniami jednotlivých etáp boli vypočítané pomocou meteorologických údajov zaznamenávaných počas merania. Teplota predstavuje výrazný faktor, pôsobením ktorého dochádza k pohybu nosnej konštrukcie vplyvom teplotnej rozťažnosti materiálu, z ktorého je vyhotovená. Jej zaznamenávanie nám pomôže pri vyhodnotení hlavne malých posunov, ktorých veľkosť je na hranici presnosti a vypovedacej schopnosti merania. Pri porovnaní jednotlivých etáp často nemožno z týchto malých posunov stanoviť jednoznačnú tendenciu zmeny geometrie konštrukcie.

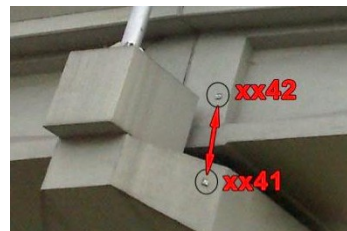
V prípade etapy 7 (2012), máme k dispozícii aj teplotu sledovanej časti konštrukcie, ktorá je zaznamenávaná inštalovaným tenzometrickým systémom. Pri grafickom porovnaní vývoja teploty ovzdušia a teploty konštrukcie možno konštatovať, že teplota konštrukcie vykazuje väčšiu stabilitu a nepodlieha tak výrazným výkyvom ako teplota ovzdušia. Teplota jednotlivých častí konštrukcie závisí aj na smere jej oslnenia.

9.2.1 Výpočet posunov etapy 7 (2012) vzhľadom k etape 6 (2011)

Posudzovanými etapami v tejto časti sú etapy 7 a 6 (2011, 2012). Hodnoty posunov boli vypočítané ako rozdiel výšok a príslušných súradníc bodov v jednotlivých etapách, pričom od hodnoty v etape 7 bola odčítaná hodnota v etape 6.

Vyhodnotenie zvislých deformácií- stlačenie ložísiel:

Stlačenie ložiska je vypočítané ako rozdiel prevýšení bodov xx21 a xx22 (xx41 a xx42) medzi jednotlivými etapami. Bod xx21 (xx41) je umiestnený vo vrchnej časti podpory mostu, bod xx22 (xx42) na bočnej strane mostovky nad ložiskom. Znamienko mínus znamená stlačenie ložiska.



Obr. 20: Vyhodnocované body

Vyhodnotenie zvislých deformácií- priehyb mostných polí:

Priehyb mostných polí je vypočítaný ako rozdiel výšok bodov xx01 umiestnených na bočnej strane mostovky v strede rozponu mostného poľa. Z dôvodu



Obr. 21: Vyhodnocované body

eliminácie vplyvu nerovnomerného sadania mostných podpier do podložia a stlačenia ložísiel bol čistý priehyb vypočítaný pomocou bodov xx22 (xx42) umiestnených na nosníku mostovky s uvažovaním etapových zmien ich výšky. Znamienko mínus znamená zväčšenie priehybu.

Grafické znázornenie zvislých posunov:

Grafické znázornenie je reprezentované pôdorysným a axonometrickým znázornením posunov.

Vyhodnotenie horizontálnych deformácií- posun mostovky na ložiskách, dilatácia mostovky a zmena vzájomnej vzdialenosti podpier:

Horizontálne posuny sú vypočítané ako vzájomný rozdiel súradníc bodov vzhľadom ku ktorým sa daný posun vzťahuje. Posun mostovky na pevnom a pohyblivom ložisku a bol počítaný ako etapová zmena vzdialeností bodov xx21 a xx22 (xx41 a xx42) prislúchajúcich danému ložisku. Dilatácia mostovky bola vypočítaná ako etapová zmena vzdialenosti bodov xx22 (xx42) umiestnenými na koncoch mostovky a zmena vzdialenosti podpor bola počítaná z bodov xx21 (xx41) umiestnenými na podperách. Znamienko plus znamená posun na ložisku v smere staničenia (v smere súradnicovej osi x), u vzdialenosti znamená jej nárast. Teplotný rozdiel pri meraní jednotlivých etáp má hodnotu 4 °C, čo predstavuje podľa vzťahu 9.6 teoretický nárast jej dĺžky o 1,4 mm.

Grafické znázornenie posunov:

Grafické znázornenie predstavuje pôdorysné znázornenie posunov.

9.2.2 Výpočet posunov etapy 6 (2011) vzhľadom k etape 5 (2010)

Výpočet posunov a ich interpretácia bola prevedená identicky ako v predchádzajúcej časti 9.2.1.

Teplotný rozdiel pri meraní jednotlivých etáp má hodnotu 3 °C, čo predstavuje podľa vzťahu 9.6 teoretický nárast dĺžky mostovky o 1,1 mm.

9.2.3 Výpočet posunov etapy 7 (2012) vzhľadom k etape 5 (2010)

Výpočet posunov a ich interpretácia bola prevedená identicky ako v časti 9.2.1. Teplotný rozdiel pri meraní jednotlivých etáp má hodnotu 7 °C, čo predstavuje podľa vzťahu 9.6 teoretický nárast dĺžky mostovky o 2,4 mm.

9.2.4 Zhodnotenie zistených posunov

Všetky zistené posuny dosahujú malých hodnôt, ktoré sa pohybujú na hranici presnosti a vypovedacej schopnosti merania. Posuny boli preukázané na 30% sledovaných bodoch, pričom ich hodnoty sa pohybujú v rozmedzí 0 až 1,5 mm.

10. ZÁVER

Náplňou tejto práce bolo zameranie, výpočet, vyhodnotenie a interpretácia posunov mostu Gagarin. Posudzovanými etapami boli etapy číslo 5, 6, 7. Pre prevedenie zamerania s požadovanou presnosťou bolo potrebné vykonať kalibráciu použitých prístrojov a pomôcok, ktorá potvrdila vhodnosť ich použitia. Posuny mostnej konštrukcie boli vypočítané a posudzované vzhľadom k všetkým trom etapám navzájom, čo umožní sledovať vývoj zmien geometrie konštrukcie za dané časové obdobie, v našom prípade dva roky.

U spodnej stavby mostu bol preukázaný pokles všetkých bodov, čo značí jej sadanie do podložia. Prvým posudzovaným faktorom bolo sadanie podpier do podložia. Najvýraznejší pokles za obdobie všetkých troch etáp bol zaznamenaný na podpere P2 a najmenší u podpery P4. Priečny náklon bol zaznamenaný u všetkých podpier, pričom sa všetky podpery nakláňajú na ľavú stranu v smere staničenia. Zvislé posuny spodnej stavby konštrukcie vykazujú tendenciu postupného znižovania sa.

U nosnej konštrukcie mostu dosahujú všetky zistené posuny malé hodnoty, ktoré sa pohybujú na hranici presnosti a vypovedacej schopnosti merania, pričom často dosahujú hodnotu veľmi blízku hodnote ich rozšírenej neistoty. U väčšiny bodov tak nebol zaznamenaný jednoznačne preukázateľný posun. Zistené posuny majú často v jednotlivých etapách premenlivé hodnoty z čoho možno usúdiť, že ich vznik je do veľkej miery ovplyvnený reakciou konštrukcie na zmeny poveternostných podmienok (hlavne teplota). Z tohoto dôvodu pri porovnaní posunov jednotlivých etáp nemožno jednoznačne určiť dlhodobý trend ich vývoja.

Na záver možno podotknúť, že všetky zistené posuny korešpondujú s ich očakávanými hodnotami.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] ANDĚL, J., *Matematická statistika*, SNTL, Praha 1978
- [2] BÖHM, J., RADOUCH, V., HAMPACHER, M., *Teorie chyb a vyrovnávací počet.*, GKP Praha, 1990
- [3] BÖHM, J., SVOBODA, J., *Geometrická nivelace.*, SNTL Praha, 1960
- [4] MICHALČÁK, O., VOSIKA, O., VESELÝ, M., NOVÁK, Z., *Inžinierska geodézia I.*, Alfa, Bratislava 1985
- [5] ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A., BUREŠ, J., *Inženýrská geodézie I, M01- Základy inženýrské geodézie.*, studijní opora, FAST VUT v Brně, Brno, 2006
- [6] ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A., BUREŠ, J., *Inženýrská geodézie II, M02- Praktické úlohy inženýrské geodézie.*, studijní opora, FAST VUT v Brně, Brno, 2007
- [7] ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A., BUREŠ, J., *Inženýrská geodézie II, M03- Geodézie ve stavebních oborech.*, studijní opora, FAST VUT v Brně, Brno, 2007
- [8] BUREŠ, J., ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A., *Vybraná realizovaná technologická řešení speciálních inženýrsko-geodetických měření v oblasti zkušebnictví stavebních konstrukcí a materiálů.*, příspěvek na konferenci XII. International Scientific Conference - Geodesy and Cartography, ISBN 978-80-7204-629-4, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2009
- [9] BUREŠ, J., SLÁMA, J., SLAVATA, J., *Verifikace a interpretace skutečného chování velkých mostních konstrukcí s využitím výsledků geodetických měření.*, příspěvek na konferenci EXPERIMENT07, ISBN 978-80-7204-543-3, CERM, s.r.o. Brno, Brno, 2007
- [10] KLUSÁČEK, L., BUREŠ, J., NEČAS, R., *Měřicí technologie při rekonstrukci předpjatého mostu Gagarin*, (online), publikováno 26.4.2011 (cit. 5.3.2013). Dostupný z WWW: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/merici-technologie-pri-rekonstrukci-predpjateho-mostu-gagarin/>
- [11] STUPKA, J., *Rekonstrukce železničního mostu Gagarin v km 5,872 na trati Český Těšín – Ostrava -Kunčice*, (online), publikováno 25.7.2011 (cit. 23.3.2013). Dostupný z WWW: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/rekonstrukce-zeleznicniho-mostu-gagarin-v-km-5-872-na-trati-cesky-tesin-ostrava-kuncice/>
- [12] BUREŠ, J., KLUSÁČEK, L., NEČAS, R., ŠVÁBENSKÝ, O., *Measuring Technology During Reconstruction of Prestressed Gagarin Bridge*, příspěvek na konferenci INGeo 2011 Proceedings of the 5th International Conference on Engineering

Surveying, ISBN 978-953-6082-15-5, University of Zagreb, Zagreb, Croatia, 2011

- [13] SEDLÁČEK, S., TUNGLI, L., *TextConv*, uživatelská příručka., Brno 2003
- [14] SEDLÁČEK, S., *Programový systém GNET*, uživatelská příručka., Brno 1996
- [15] ČSN 73 6200- *Mostní názvosloví.*, česká státní norma, účinnost od 1.1.1977, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha 1984
- [16] LEICA GEOSYSTEMS, *GSI online for Leica TPS and DNA.*, user manual, 2008
- [17] ČADA, V., *Prednáškové texty z geodézie*, kapitola 5.2.1.- Měření vodorovných úhlů., (cit. 13.4.2013). Dostupný z WWW: <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch05s02.html>
- [18] ČSN ISO 8322-10- *Pozemní stavby- měřicí přístroje- určování přesnosti během používání- Rozdíl mezi odraznými terči a hranoly pro měření vzdáleností do 150 m.*, česká státní norma, Český normalizační institut, 1998
- [19] VITÁSEK, J., NEVOSÁD, Z., *Průvodce předmětem Geodézie III.*, studijní opora, FAST VUT v Brně, Brno 2005
- [20] ČSN 73 0405- *Měření posunů stavebních objektů.*, česká státní norma, Český normalizační institut, 1997
- [21] KALINA, M., *Geodetické měření posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce velkého rozpětí.*, práce studenstské vědecké a odborné činnosti, FAST VUT v Brně, Brno 2010
- [22] KOSKA, B., KŘEMEN, T., POSPÍŠIL, J., ŠTRONER, M., *Laserové skenování ve speciálních průmyslových aplikacích.*, workshop fotogrammetrie, DZP a laserového skenování, ČVUT v Praze a Společnost pro fotogrammetrii a DPZ, s. 1-15, ISBN 978-80-01-03969-4, Praha 2007
- [23] KOSKA, B., KŘEMEN, T., POSPÍŠIL, J., ŠTRONER, M., *Využití skenovacích systémů pro měření posunů.*, sborník z workshopu VZ Udržitelná výstavba, ČVUT Fakulta stavební, s. 154-158, ISBN 978-80-01-03977-9, Praha 2007.
- [24] MÖSER, M., HÁNEK, P., *Měření posunů přehrad přesnými totálními stanicemi.*, časopis Geodetický a kartografický obzor, ročník 55 (97), číslo 6, strana 132-135, Český úřad zeměměřický a katastrální a Úřad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Praha 2009
- [25] JEŽKO, J., STANĚK, V., *Meranie zvislých posunov mostného objektu Apollo v Bratislave.*, časopis Acta Montanistica Slovaca, ročník 14 (2009), mimoriadne číslo 1, strana 60, fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií TU Košice, Košice 2009

- [26] MÖSER, M., HÁNEK, P., KOLLNEROVÁ, M., SCHMIDT, J., *Geodetická sledování působení prostředí na inženýrské stavby.*, časopis Geodetický a kartografický obzor, ročník 54 (96), číslo 4, strana 63, Český úřad zeměměřický a katastrální a Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Praha 2008
- [27] PROCHÁZKA, J., VOBORILOVÁ, P., *Sledování svislých posunů opěrných sloupů ochozu Letohrádku královny Anny na Pražském hradě*, časopis Geodetický a kartografický obzor, ročník 49 (91), číslo 9, strana 188- 198, Český úřad zeměměřický a katastrální a Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Praha 2003
- [28] PROCHÁZKA, J., *Aplikace přesné nivelace pro statické zatěžovací zkoušky mostů.*, časopis Geodetický a kartografický obzor, ročník 45 (87), číslo 11, strana 259, Český úřad zeměměřický a katastrální a Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Praha 1999
- [29] BEŇÁK, M., MEDVECKÝ, L., *Meranie posunov prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh.*, časopis Geodetický a kartografický obzor, ročník 43 (85), číslo 7, strana 139- 143, Český úřad zeměměřický a katastrální a Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Praha 1997
- [30] BARTOŠ, P., GREGOR, V., *Fotogrammetrické určovanie deformácie dolných vrát plavebnej komory VD Gabčíkovo.*, časopis Geodetický a kartografický obzor, ročník 41 (83), číslo 11, strana 238- 241, Český úřad zeměměřický a katastrální a Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Praha 1995
- [31] PETRÁŠ, J., ČERNÁNSKÝ, J., BARICA, P., *Dlhodobé fotogrammetrické merania sypanej priehrady Bukovec II.*, časopis Geodetický a kartografický obzor, ročník 37 (79), číslo 10, strana 220- 223, Český úřad geodetický a kartografický a Slovenský úrad geodézie a kartografie, Praha 1991
- [32] ŠTUBŇA, J., KOVÁČ, V., *Aplikácia technológie GPS pri meraní lokálnej geodetickej siete a monitorovane geodynamiky vodného diela Liptovská Mara.*, príspevok na konferencii Geodetické siete a priestorové informácie, Podbanské 2005, (cit. 17.5.2013). Dostupný z WWW: http://www.topu.mil.sk/data/att/15646_subor.pdf,
- [33] MARČIŠ, M., FRAŠTIA, M., *Measuring the deformations of steel column using convergent photogrammetry.*, INGE0 2011- proceedings of the 5th international conference on engineering surveying, University of Zagreb, Faculty of Geodesy, ISBN 978-953-6082-15-5, Zagreb 2011
- [34] MICHALČÁK, O., BOLF, J., ONDRIŠ, L., PRIAM, M., *Určenie náklonu objektov hydrostatickou niveláciou.*, časopis Geodetický a kartografický obzor, ročník 32 (74), číslo 10, strana 243- 247, Český úřad geodetický a kartografický a Slovenský úrad geodézie a kartografie, Praha 1986

- [35] BUREŠ, J., *Analýza experimentálních měření GPS- RTK .*, časopis Geodetický a kartografický obzor, ročník 55 (97), číslo 4, strana 75- 86, Český úřad zeměměřický a katastrální a Úřad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, Praha 2009
- [36] ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A., BUREŠ, J., *Inženýrská geodézie I, M02- Geodézie ve stavebnictví.*, studijní opora, FAST VUT v Brně, Brno, 2006